

TUGAS AKHIR- TL 141584

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT PANI/CuO UNTUK APLIKASI SENSOR PESTISIDA

ADITYA DWIHUTAMA SUMARYANTO
NRP. 2713 100 146

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR- TL 141584

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL
KOMPOSIT POLIANILIN/CuO UNTUK APLIKASI
SENSOR PESTISIDA**

Aditya Dwihutama Sumaryanto
NRP 2713 100 140

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono S.Si, M.Si, Ph.D
Diah Susanti S.T, M.T, Ph.D

**Departemen Teknik Material Dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh November
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT- TL 141584

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
PANI/CuO COMPOSITES FOR PESTICIDES SENSORS
APPLICATION.**

Aditya Dwihutama S
NRP 2713 100 146

Advisors:
Sigit Tri Wicaksono S.Si, M.Si, Ph.D
Diah Susanti S.T, M.T, Ph.D

**Materials Engineering Department
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ADITYA DWIHUTAMA SUMARYANTO

NRP. 2713 100 146

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. (Pembimbing I)

Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing II)



SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT PANI/CuO UNTUK APLIKASI SENSOR PESTISIDA

Nama : Aditya Dwihutama Sumaryanto
NRP : 2713100146
Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono S.Si,M.Si. Ph.D.
Diah Susanti S.T, M.T. Ph.D.

ABSTRAK

Pestisida bermanfaat untuk melindungi tanaman, tetapi disisi lain pestisida sangat berbahaya pada kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan CuO pada komposit PANI/CuO terhadap morfologi, konduktivitas elektrik, dan kemampuan *sensing* terhadap pestisida. Polianilin disintesis dengan metode oksidasi kimia dan CuO telah tersedia dalam bentuk serbuk. Serbuk CuO ditambahkan ke dalam matriks polyaniline dengan 4 variasi sampel (0wt%, 10wt%, 20wt% dan 30wt%). Proses karakterisasi komposit dianalisa dengan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Kemudian dilakukan uji konduktivitas listrik arus DC dengan alat LCR meter dan uji *sensing* pestisida diketahui dengan mengukur perubahan resistivitas komposit. Hasil pengujian menunjukkan dengan semakin besarnya komposisi massa CuO terhadap komposit PANI/CuO mempengaruhi morfologi dari partikelnya menjadi terlihat lebih kasar. Selain itu, semakin besarnya komposisi massa CuO juga mempengaruhi nilai konduktivitas elektrik DC komposit PANI/CuO menjadi lebih kecil. Nilai konduktivitas elektrik yang tertinggi adalah sebesar 4.88×10^{-3} S/cm pada komposit PANI/CuO 0% dan yang terendah sebesar 5.94×10^{-6} S/cm pada komposit PANI/CuO 30%. Komposit PANI/CuO juga bereaksi apabila terpapar oleh pestisida jenis diklorvos. Reaksi yang dihasilkan komposit berupa kenaikan konduktivitas elektriknya.

Kata kunci: Polianilin, CuO, Komposit, Sensor Gas.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PANI/CuO COMPOSITES FOR PESTICIDES SENSORS APPLICATION

Name : Aditya Dwihutama Sumaryanto
NRP : 2713100146
Advisor : Sigit Tri Wicaksono S.Si, M.Si. Ph.D.
Diah Susanti S.T, M.T. Ph.D

ABSTRACT

Pesticides have many uses for crops protection and pest exterminator. But pesticides have a downsides which is harmful if exposed to human due to it's toxicity. Polyaniline is an intrinsically conductive polymers which changes it's electrical and optical properties when doped / dedoping by certain dopant. Due to it's unique properties, Polyaniline is a widely used material for gas sensors application. This research aims to analyze influence of CuO towards PANI/CuO composites to it's morphology, electrical conductivity and sensing capability for pesticides. Polyaniline (PANI) is synthesized using chemical oxidation. In other hand, CuO is available in powder forms. CuO is added to Polyaniline matrix with three different variation, that is 0, 10, 20, and 30% of weight fraction. To create PANI/CuO composites, PANI and CuO is mixed in an ultrasonic cleaner then compressed to pellets using compaction method. Composites then characterized using Scanning Electron Microscopy, X-ray Dispersion Spectroscopy, and Fourier Transform Infrared. For electrical conductivity and sensing capability measured using LCR meter. From the research, increasing weight fraction of CuO in PANI/CuO composites shows rougher particle's morphology. And increasing weight fraction in PANI/CuO composites lowers it's electrical conductivity and the composites reacts to dichlorvos pesticides with increasing conductivity.

Key Word : Polyaniline, Gas sensors, dichlorvos, pesticides, electrical conductivity

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan hidayat-Nya, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul : **“SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT POLIANILIN/CuO UNTUK APLIKASI SENSOR PESTISIDA”** Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga atas segala doa, dukungan dan cinta yang telah diberikan selama ini
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si, M.Si. Ph.D. dan Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Bapak Dr. Agung Purniawan selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS
4. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang tugas akhir serta seluruh jajaran dosen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
5. Seluruh Karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah banyak membantu dalam pengerjaan penelitian ini
6. Serta rekan-rekan mahasiswa Departemen Teknik Material ITS Surabaya, yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Polianilin (PANI)	5
2.2 Sintesis Polianilin Terdoping oleh HCl (Garam Emeraldin Hidroklorida)	7
2.3 Konduktivitas Listrik Polianilin	8
2.4 Tembaga(II) Oksida (CuO)	10
2.5 Komposit	11
2.6 Sensor Gas	12
2.6.1 Pengertian Sensor Gas	12
2.6.2 Prinsip Kerja Sensor Gas	13
2.6.3 Sensitivitas Terhadap Gas	15
2.7 Metode Kompaksi	16
2.8 Pestisida Diklorvos	17
2.9 Penelitian Sebelumnya	18
2.9.1 Sintesis Polianilin	18
2.9.2 Komposit Polianilin/CuO	21
2.9.3 Polianilin Sebagai Sensor Pestisida	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir	29

3.1.1 Diagram Alir Sintesis Polianilin.....	29
3.1.2 Diagram Alir Penelitian.....	30
3.1.3 Diagram Alir Pengujian.....	31
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.2.1 Bahan Penelitian.....	32
3.2.2 Peralatan Penelitian	32
3.3 Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1 Preparasi Larutan Anilin	33
3.3.2 Preparasi Larutan Amonium Peroksidisulfat (APS).....	33
3.3.3 Sintesis Polianilin ES	34
3.3.4 Prosedur Pembuatan Komposit PANI/CuO	35
3.3.5 Prosedur Pembuatan Pellet.....	36
3.4 Karakterisasi dan Pengujian	37
3.4.1 <i>Fourier Transormation Infrared</i> (FTIR)	37
3.4.2 <i>X-Ray Diffraction Spectroscopy</i> (XRD).....	38
3.4.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	38
3.4.4 Pengujian Konduktivitas Elektrik.....	38
3.5 Pengujian Penginderaan Pestisida	39
3.6 Rancangan Penelitian	40
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Analisis Data	41
4.1.1 Analisis Hasil Uji FTIR.....	41
4.3.2 Analisis Hasil Uji XRD.....	43
4.3.3 Analisis Hasil Uji SEM	47
4.3.4 Analisis Hasil Uji Konduktivitas Elektrik DC	55
4.3.5 Analisis Hasil Uji Penginderaan Pestisida	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	xxi
LAMPIRAN	xiii
BIOGRAFI PENULIS.....	xxxvii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Basa emeraldin (MacDiarmid dan Epstein, 1992).....	5
Gambar 2.2 Leukomeraldin (MacDiarmid dan Epstein, 1992).....	5
Gambar 2.3 Pernigranilin (MacDiarmid dan Epstein, 1992).....	5
Gambar 2.4 Mekanisme Doping 2 Cl ⁻ Dan e ⁻ Pada Leukomeraldin dan Doping H ⁺ Pada Basa Emeraldin Sehingga Menjadi Garam Emeraldin Hidroklorida Dengan Konduktivitas 1-5 S.cm ⁻¹ (MacDiarmid dan Epstein, 1992)	6
Gambar 2.5 Mekanisme Reaksi Anilin Hidroklorida Dengan Amonium Peroksidisulfat (Stejskal, 2002).....	7
Gambar 2.6 Mekanisme Konduksi Pada Semikonduktor n-type (Kim, 2014)	14
Gambar 2.7 Mekanisme Konduksi Pada Semikonduktor p-type (Kim, 2014)	14
Gambar 2.8 Jenis-jenis Kompaksi (a) single punches (b)double punches (C)multiple punches (Kalpakjian, 2003).....	16
Gambar 2.9 Struktur Kimia Diklorvos.	17
Gambar 2.10 Hasil XRD Polianilin (Liu, 2010).....	19
Gambar 2.11 Hasil FTIR Polianilin (Liu, 2010)	20
Gambar 2.12 Hasil FTIR Polianilin (A) PANI-HCl (B) PANI-HCOOH(Gomes, 2012).....	21
Gambar 2.13 Hasil FTIR Komposit (a) PANI/CuO 10% (b) PANI/CuO 20% (c) PANI/CuO 30% (d) PANI/CuO 40% (e) PANI/CuO 50% (Jundale, 2013).....	22
Gambar 2.14 Hasil XRD Komposit (a) PANI EB (b) CuO (c) Komposit PANI/CuO	23
Gambar 2.15 Hasil SEM Komposit (a) PANI EB (b) CuO (c) PANI/CuO 10% (d) PANI/CuO 20% (e) PANI/CuO 30% (f) PANI/CuO 40% (g) PANI/CuO 50% (Jundale, 2013).....	24
Gambar 2.16 Hasil Uji Resistivitas Komposit PANI/Cuo	25
Gambar 2.17 Pengaruh pestisida dichlorvos pada konduktivitas PANi dengan konsentrasi berbeda. (Hosseini, 2013).....	26

Gambar 2.18 Pengaruh pestisida trichlorophon pada konduktivitas PANi dengan konsentrasi berbeda. (Hosseini, 2013).....	26
Gambar 2.19 Pengaruh pestisida chlorpyrifos pada konduktivitas PANI dengan konsentrasi berbeda. (Hosseini, 2013).....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Sintesis Polianilin.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengujian Penginderaan.....	31
Gambar 3.4 Proses Sintesis Polianilin.....	34
Gambar 3.5 Serbuk Polianilin	35
Gambar 3.6 Serbuk CuO	35
Gambar 3.7 Alat Kompaksi Dan Cetakan (dies).....	36
Gambar 3.8 Dimensi Pellet.	37
Gambar 3.9 Pellet Komposit Hasil Kompaksi	37
Gambar 3.10 Rangkaian pengujian penginderaan gas.	39
Gambar 4.1 Spektrum FTIR Komposit PANI/Cuo Pada Variasi Komposisi Massa 0, 10, 20, dan 30%.	41
Gambar 4.2 Spektrum XRD Cuo, PANI Dan Komposit PANI/Cuo Pada Variasi Komposisi Massa 10, 20, dan 30%.	44
Gambar 4.3 Hasil SEM Perbesaran 2500x (A) PANI (B) PANI/CuO 10%.....	48
Gambar 4.4 Hasil SEM Perbesaran 2500x (A) PANI/CuO 20% (B) PANI/CuO 30%.....	49
Gambar 4.5 Hasil SEM Perbesaran 10000x (A) PANI (B) PANI/CuO 10%.....	50
Gambar 4.6 Hasil SEM Perbesaran 10000x (A) PANI/CuO 20% (B) PANI/CuO 30%	51
Gambar 4.7 Hasil SEM Perbesaran 25000x (A) PANI (B) PANI/CuO 10%.....	52
Gambar 4.8 Hasil SEM Perbesaran 25000x (A) PANI/CuO 20% (B) PANI/CuO 30%	53
Gambar 4.9 Grafik Konduktivitas Elektrik DC Komposit PANI/CuO	56

Gambar 4.10 Grafik Konduktivitas Elektrik DC Komposit PANI/CuO Sebelum Dan Sesudah Dipaparkan Pestisida. ..	58
Gambar 4.11 Grafik Sensitivitas Komposit PANI/CuO Terhadap Pestisida Diklorvos.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktivitas Polianilin Hidroklorida Yang Dipreparasi Dengan Standard* Yang Sama Dari Berbagai Institusi (A-E) Dan Peneliti (1-2) (Stejskal, 2002).....	8
Tabel 2.2 Efek Kondisi Reaksi pada Konduktifitas Listrik Polianilin Hidroklorida (Stejskal, 2002).....	9
Tabel 2.3 Rata-Rata Konduktivitas Listrik dari Polianilin Fasa Emeraldin. (Stejskal, 2002).	10
Tabel 2.4 Sifat-Sifat dari CuO (Richardson, 2000).....	11
Tabel 3.1 Massa Komposit PANI/CuO Yang Digunakan Pada Proses Kompaksi	36
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian	40
Tabel 4.1 Daftar Peak Spektrum FTIR Komposit PANI/CuO	42
Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Elektrik DC Komposit PANI/CuO	55
Tabel 4.3 Tabel Data Resistivitas dan Konduktivitas Komposit PANI/CuO Sebelum dan Sesudah Terpapar Pestisida.	57
Tabel 4.4 Nilai Sensitivitas Komposit PANI/CuO	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan pestisida sangat banyak pada saat ini, khususnya pada bidang agrikultur. Pestisida memang bermanfaat untuk melindungi tanaman, tetapi disisi lain pestisida sangat berbahaya pada kesehatan manusia. (Ardiyanto, 2013) Pendeteksian pestisida sangat penting untuk mencegah adanya efek negatif dari pestisida ke manusia.

Untuk aplikasi sensor gas, banyak pilihan material yang dapat dijadikan sebagai material sensor. Salah satu material tersebut adalah polimer konduktif. Polimer konduktif dinilai memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai material sensor. Material ini memiliki kelebihan mudah diproduksi, tidak memerlukan temperatur kerja tinggi, tidak memerlukan area kerja yang bersih, dan gas lebih mudah berdifusi dengan polimer. (Korotcenkov, 2013)

Polianilin (PANI) adalah salah satu dari polimer konduktif, dan merupakan polimer yang paling banyak dipelajari karena sifat konduktivitasnya. Polyaniline atau PANI memiliki kelebihan seperti stabil dalam udara, dengan konduktivitas elektrik yang tinggi, ramah lingkungan dan stabilitas kimia dan elektrik yang baik.

Copper oxide (CuO) adalah oksida dari tembaga. Merupakan semikonduktor yang dapat diaplikasikan ke banyak bidang. CuO memiliki energi *band gap* yang kecil dan energi eksitasi yang besar pada temperatur ruang. Selain itu CuO memiliki sifat mekanik yang baik, stabil di berbagai lingkungan dan resistivitas elektriknya dapat dikendalikan dengan asam/basa (*doping*). Karena sifat-sifat ini CuO telah banyak diaplikasikan ke berbagai hal seperti elektroda baterai, pelindung elektromagnetik, coating anti korosi, solar cells, dan sensor. (Jundale, 2013)

Pada penelitian sebelumnya (Hosseini, dkk, 2010) mengaplikasikan PANI untuk mendeteksi beberapa jenis pestisida.

Pada penelitian tersebut menunjukkan PANI memiliki konduktivitas yang baik, respon terhadap gas yang cukup cepat,



dan waktu sensing yang cukup cepat. Namun kekurangannya, pada jenis pestisida tertentu membutuhkan waktu sensing yang lama dan stabilitas sensor yang berkurang ketika konsentrasi pestisida lebih tinggi.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan komposit PANI/CuO belum ada yang diaplikasikan untuk sensor pestisida. Sampai saat ini komposit tersebut baru diaplikasikan terhadap *chloroform*. (Sharma, dkk, 2002). Sedangkan Jundale, 2013 melakukan studi sintesis, struktur, morfologi, sifat optik, dan sifat elektrik.

Penelitian ini melakukan penambahan CuO ke matriks PANI untuk membentuk komposit PANI/CuO dengan tujuan meningkatkan respon dan waktu sensing terhadap pestisida. Pengaruh dari variasi penambahan CuO terhadap morfologi, konduktivitas elektrik, dan sensitivitas sensor akan selanjutnya dianalisis dengan berbagai pengujian. Penelitian ini merupakan studi awal, karena itu hasil yang didapatkan belum sempurna dan masih banyak yang harus diperbaiki. Penulis berharap studi awal ini dapat menjadi acuan untuk penelitian seterusnya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara mensintesis PANI/CuO sebagai material sensor pestisida?
2. Bagaimana pengaruh CuO terhadap struktur dan sifat elektrik dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida?
3. Bagaimana pengaruh CuO terhadap sensitivitas pestisida dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan dianggap homogen.
2. Pencampuran komposit dianggap homogen.
3. Pengaruh impuritas pada saat pencampuran komposit diabaikan.



4. Pengaruh tekanan, temperatur dan kelembapan pada ruang uji gas diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyintesis komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida.
2. Menganalisis pengaruh CuO terhadap konduktivitas elektrik dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida.
3. Menganalisis pengaruh CuO terhadap sensitivitas pestisida dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh CuO terhadap morfologi, konduktivitas elektrik dan sensitivitas terhadap pestisida dari komposit PANI/CuO. Sehingga didapatkan jumlah penambahan CuO optimum untuk membentuk komposit PANI/CuO sebagai sensor pestisida yang berguna untuk mendeteksi kandungan pestisida pada hasil agrikultur, air dan tanah. Serta berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan komposit berbasis Polianilin.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan pestisida sangat banyak pada saat ini, khususnya pada bidang agrikultur. Pestisida memang bermanfaat untuk melindungi tanaman, tetapi disisi lain pestisida sangat berbahaya pada kesehatan manusia. (Ardiyanto, 2013) Pendeteksian pestisida sangat penting untuk mencegah adanya efek negatif dari pestisida ke manusia.

Untuk aplikasi sensor gas, banyak pilihan material yang dapat dijadikan sebagai material sensor. Salah satu material tersebut adalah polimer konduktif. Polimer konduktif dinilai memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai material sensor. Material ini memiliki kelebihan mudah diproduksi, tidak memerlukan temperatur kerja tinggi, tidak memerlukan area kerja yang bersih, dan gas lebih mudah berdifusi dengan polimer. (Korotcenkov, 2013)

Polianilin (PANI) adalah salah satu dari polimer konduktif, dan merupakan polimer yang paling banyak dipelajari karena sifat konduktivitasnya. Polyaniline atau PANI memiliki kelebihan seperti stabil dalam udara, dengan konduktivitas elektrik yang tinggi, ramah lingkungan dan stabilitas kimia dan elektrik yang baik.

Copper oxide (CuO) adalah oksida dari tembaga. Merupakan semikonduktor yang dapat diaplikasikan ke banyak bidang. CuO memiliki energi *band gap* yang kecil dan energi eksitasi yang besar pada temperatur ruang. Selain itu CuO memiliki sifat mekanik yang baik, stabil di berbagai lingkungan dan resistivitas elektriknya dapat dikendalikan dengan asam/basa (*doping*). Karena sifat-sifat ini CuO telah banyak diaplikasikan ke berbagai hal seperti elektroda baterai, pelindung elektromagnetik, coating anti korosi, solar cells, dan sensor. (Jundale, 2013)

Pada penelitian sebelumnya (Hosseini, dkk, 2010) mengaplikasikan PANI untuk mendeteksi beberapa jenis pestisida.

Pada penelitian tersebut menunjukkan PANI memiliki konduktivitas yang baik, respon terhadap gas yang cukup cepat,



dan waktu sensing yang cukup cepat. Namun kekurangannya, pada jenis pestisida tertentu membutuhkan waktu sensing yang lama dan stabilitas sensor yang berkurang ketika konsentrasi pestisida lebih tinggi.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan komposit PANI/CuO belum ada yang diaplikasikan untuk sensor pestisida. Sampai saat ini komposit tersebut baru diaplikasikan terhadap *chloroform*. (Sharma, dkk, 2002). Sedangkan Jundale, 2013 melakukan studi sintesis, struktur, morfologi, sifat optik, dan sifat elektrik.

Penelitian ini melakukan penambahan CuO ke matriks PANI untuk membentuk komposit PANI/CuO dengan tujuan meningkatkan respon dan waktu sensing terhadap pestisida. Pengaruh dari variasi penambahan CuO terhadap morfologi, konduktivitas elektrik, dan sensitivitas sensor akan selanjutnya dianalisis dengan berbagai pengujian. Penelitian ini merupakan studi awal, karena itu hasil yang didapatkan belum sempurna dan masih banyak yang harus diperbaiki. Penulis berharap studi awal ini dapat menjadi acuan untuk penelitian seterusnya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara mensintesis PANI/CuO sebagai material sensor pestisida?
2. Bagaimana pengaruh CuO terhadap struktur dan sifat elektrik dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida?
3. Bagaimana pengaruh CuO terhadap sensitivitas pestisida dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan dianggap homogen.
2. Pencampuran komposit dianggap homogen.
3. Pengaruh impuritas pada saat pencampuran komposit diabaikan.



4. Pengaruh tekanan, temperatur dan kelembapan pada ruang uji gas diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyintesis komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida.
2. Menganalisis pengaruh CuO terhadap konduktivitas elektrik dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida.
3. Menganalisis pengaruh CuO terhadap sensitivitas pestisida dari komposit PANI/CuO sebagai material sensor pestisida.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh CuO terhadap morfologi, konduktivitas elektrik dan sensitivitas terhadap pestisida dari komposit PANI/CuO. Sehingga didapatkan jumlah penambahan CuO optimum untuk membentuk komposit PANI/CuO sebagai sensor pestisida yang berguna untuk mendeteksi kandungan pestisida pada hasil agrikultur, air dan tanah. Serta berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan komposit berbasis Polianilin.



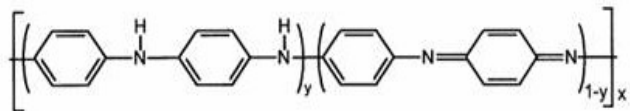
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polianilin (PANI)

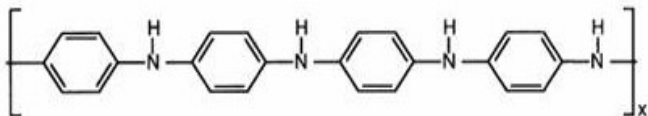
Polianilin stabil dalam bentuk bervariasi dibedakan berdasarkan sifat fisik dan kimia. Emeraldin yang telah terprotonasi memiliki konduktivitas listrik senilai dengan semikonduktor (10^0 S cm^{-1}) (Stejskal, 2002).

Polianilin ialah salah satu dari klasifikasi polimer yang dapat dianggap berbeda dari polimer biasa, dengan komposisi bentuk basa yang general sebagai berikut:

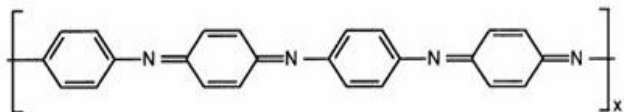


Gambar 2.1 Basa emeraldin (MacDiarmid dan Epstein, 1992)

Polianilin dapat direduksi atau dioksidasi menjadi:



Gambar 2.2 *Leukomeraldin* (MacDiarmid dan Epstein, 1992)

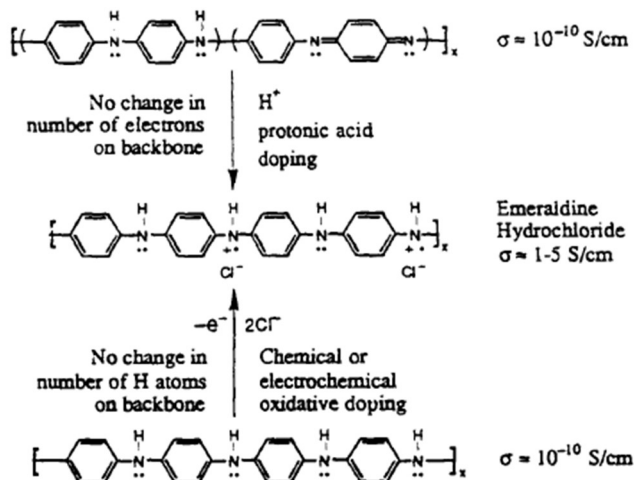


Gambar 2.3 *Pernigranilin* (MacDiarmid dan Epstein, 1992)

Tingkat oksidasi dapat divariasikan dari 0 atau tereduksi seutuhnya (Gambar 2.2), 0,5 atau teroksidasi setengah (Gambar



2.1), dan 1 yang teroksidasi seutuhnya (Gambar 2.3). Sebutan leucomeraldin, emeraldin, dan pernigralin adalah berdasarkan perbedaan tingkat oksidasi dari polianilin tersebut. Selain dalam bentuk basa (basa emeraldin), polianilin dapat berupa garam yang terprotonasi (emeraldin hidroklorida) (Gambar 2.4). Prinsip yang digunakan ialah atom imin nitrogen dapat diprotonasi secara seluruhnya atau sebagian untuk dapat membentuk garam yang ditentukan. Derajat terprotonasi dari basa polimer tergantung dari tingkat oksidasi dan pH dari larutan asam (MacDiarmid dan Epstein, 1992).



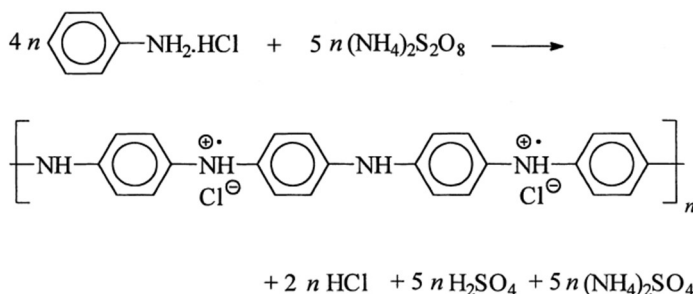
Gambar 2.4 Mekanisme Doping 2 Cl^- Dan e^- Pada Leucomeraldin dan Doping H^+ Pada Basa Emeraldin Sehingga Menjadi Garam Emeraldin Hidroklorida Dengan Konduktivitas 1-5 S.cm^{-1} (MacDiarmid dan Epstein, 1992)

2.2 Sintesis Polianilin Terdoping oleh HCl (Garam Emeraldin Hidroklorida)

Polimerisasi dari anilin didapatkan secara ideal hanya dalam media asam, dimana anilin sebagai anilinium kation. Variasi



dari asam anorganik dan organik dengan konsentrasi yang berbeda telah dilakukan dalam mensintesis polianilin. Hasil dari polianilin yang terprotonasi dengan beragam asam memiliki perbedaan dalam hal kelarutan, koduktifitas dan stabilitas (Trivedi, 1997). Untuk saat ini, penggunaan asam klorida dengan jumlah molar yang sama dengan anilin, maka anilin hidroklorida digunakan. Peroksidisulfat adalah oksidan yang paling umum digunakan, dan garam amoniumnya lebih baik dari kalium dikarenakan kelarutannya di dalam air yang lebih baik. Untuk mengurangi anilin yang tersisa dan untuk mendapatkan jumlah polianilin yang terbaik, stoikiometri peroksidisulfat dan anilin memiliki perbandingan 5:4 (Armes dan Miller, 1988) (Gambar 2.5). Polimerisasi akan selesai selama 10 menit pada temperatur ruangan dan satu jam pada temperatur 0-2°C (Sulimenko dkk, 2001). Oksidasi dari anilin adalah eksotermal, sehingga temperatur dari reaksi campuran dapat dilihat sebagai progres dari proses reaksi (Beadle dkk, 1998).



Gambar 2.5 Mekanisme Reaksi Anilin Hidroklorida Dengan Amonium Peroksidisulfat (Stejskal, 2002)

2.3 Konduktivitas Listrik Polianilin

Standard polimerisasi dari anilin telah dibuat oleh delapan orang dari lima institusi dengan negara yang berbeda. Rerata konduktivitas dari 59 sampel (Tabel 2.1) adalah 4,37 S cm⁻¹ (standard deviasi 40%). Perbandingan dengan rerata yang diperoleh dari 35 sampel dengan rerata konduktivitas 4,50 S cm⁻¹



(standard deviasi 35%). Hal ini berarti tidak ada perbedaan yang sangat signifikan.

Tabel 2.1 Konduktivitas Polianilin Hidroklorida Yang Dipreparasi Dengan Standard* Yang Sama Dari Berbagai Institusi (A-E) Dan Peneliti (1-2) (Stejskal, 2002).

Institusi- peneliti	Jumlah sampel	konduktivitas ⁺ (S/cm)	Standard deviasi (S/cm)
A-1	5	5,10	1,16
A-2	4	3,82	0,25
A	9	4,53	1,08
B-1	35	4,50	1,56
B-2	3	6,98	0,59
B	38	4,70	1,64
C-1	2	2,37	1,01
C-2	1	2,07	0
C	3	2,27	0,35
D	6	2,08	0,37
E	3	6,41	0,66

* 0,2 M anilin hidroklorida, 0,25 M amoniumperoksidisulfat, pada temperatur ruangan (~20 °C) dalam 100 mL reaksi

⁺ rerata konduktivitas dari setiap institusi diberi cetak tebal di dalam Tabel 2.2

Beberapa polimerisasi telah dibuat dengan kondisi yang berbeda-beda (Tabel 2.2). Proses reduksi dimulai pada temperatur 0-2°C dengan nilai mendekati dua kalilipat yaitu 7,58 S/cm(standard deviasi 35%) (Tabel 2.3) (Stejskal, 2000).



Tabel 2.2 Efek Kondisi Reaksi pada Konduktifitas Listrik Polianilin Hidroklorida (Stejskal, 2002).

Institusi- peneliti	Jumlah sampel	konduktivitas (S/cm)	Standard deviasi (S/cm)
Polimerisasi pada temperatur $\sim 0^{\circ}\text{C}$			
A-1	3	6,58	0,71
B-2	3	8,40	0,38
D	3	4,33	1,77
E	3	11,0	0,31
Polimerisasi dengan 1 M HCl			
A-1	7	8,98	2,63
A-2	3	9,04	6,08
B-2	3	17,0	2,52
E	3	16,5	5,17
Polimerisasi dalam reaksi 500 ml			
A-1	3	3,29	0,19
0,2 M anilin hidroklorida, 0,25 M amoniumperoksidisulfat			



Tabel 2.3 Rata-Rata Konduktivitas Listrik dari Polianilin Fasa Emeraldin. (Stejskal, 2002).

Kondisi Reaksi*	Konduktivitas S/cm		Yield%
	Polianilin hidroklorida	Basa Polianilin	
~20 °C	4,37 ± 1,74 (59)	6,0 ± 1,8 x 10 ⁴ (4)	97,9 ± 3, (12)
~0 °C	7,58 ± 2,63 (12)	8,3 ± 0,13 x 10 ⁴ (4)	102,1 ± 2,5 (10)
1 M HCl	11,90 ± 5,17 (16)	3,9 ± 1,4 x 10 ⁴ (4)	90,7 ± 0,8 (9)
20 °C		2,5 ± 1,9 x 10 ⁴ (4)	
1 M HCl			
0 °C	9,83 ± 0,51 (4)	(4)	95,0 ± 1,8 (4)

* 0,2 M anilin hidroklorida, 0,25 M amoniumperoksidisulfat, pada spesifikasi tertentu dari temperatur dan penambahan HCl

2.4 Tembaga(II) Oksida (CuO)

Tembaga(II) Oksida atau CuO merupakan senyawa anorganik yang berwarna hitam dan berbentuk serbuk. Di alam tersedia dalam bentuk mineral hitam *tenorite* dan *paramelaconite*. Tenorite memiliki struktur kristal monoklinik sedangkan paramelaconite memiliki struktur kristal tetragonal. Namun, pada umumnya CuO hadir dalam fasa *tenorite*. CuO stabil terhadap udara dan uap air pada temperatur kamar. CuO tidak larut dalam air atau alkohol tetapi larut perlahan dalam amonia dan larut dengan cepat di amonium karbonat. Berikut sifat-sifat dari CuO pada Tabel 2.4.(Richardson, 2000)



Tabel 2.4 Sifat-Sifat dari CuO (Richardson, 2000)

Sifat	Nilai
Berat Molekul	99,54
Densitas	6,315 g/cm ³
Titik Lebur	1326°C
Titik Didih	2000°C
Kelarutan dalam Air	Tidak Larut
Band Gap	1.2 eV

CuO memiliki banyak aplikasi seperti pembuatan baterai *dry-cell*, dan sebagai semikonduktor karena memiliki band gap yang kecil sebesar 1.4eV dan termasuk dalam semikonduktor *p-type* (Submaranian, 2015) dan CuO memiliki konduktivitas elektrik *bulk* pada temperatur ruangan sebesar 4.27×10^{-9} S/cm (Jundale dkk, 2013)

2.5 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih. Matriks sebagai material dengan fasa kontinyu yang dapat mengikat komponen filler dan memberi bentuk pada komposit, sedangkan filler merupakan material dengan fasa diskontinyu yang umumnya memiliki sifat-sifat yang lebih unggul daripada matriks dan berperan sebagai komponen penguat atau pengubah sifat keseluruhan dari komposit. Komponen yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik. Dengan adanya penggabungan antara dua komponen tersebut, maka akan dihasilkan material baru yang memiliki sifat unggul dibandingkan material penyusunnya (Mazumdar, 2002)



Sifat-sifat yang dipengaruhi dari penambahan filler dalam suatu komposit meliputi sifat mekanik, thermal dan elektrik. Perubahan sifat-sifat ini dapat diperkirakan dengan menggunakan persentase volume atau massa dan dihitung dengan persamaan *rule of mixture upper bound* dan *lower bound*.

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E_c = \frac{E_m E_p}{V_m E_p + V_p E_m} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan menggunakan persamaan *rule of mixture*, sifat akhir komposit dapat diperkirakan dengan menggunakan fraksi volume atau massa dari komponen penyusunnya (Callister, 2007)

2.6 Sensor Gas

2.6.1 Pengertian Sensor Gas

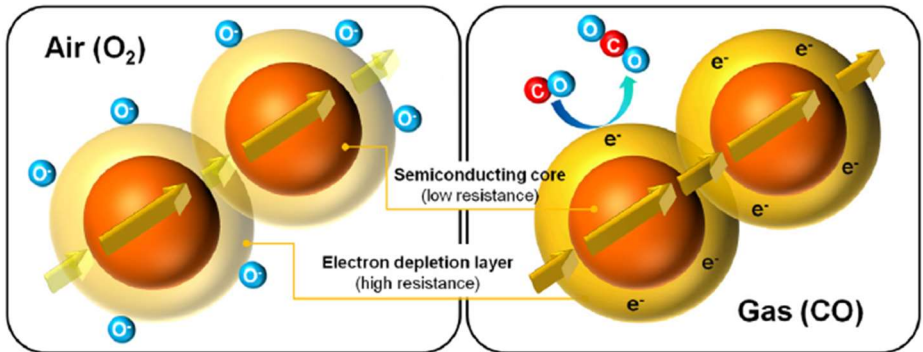
Sensor adalah alat untuk mendeteksi/mengukur sesuatu, yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Dalam lingkungan sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya (Petruzella, 2001). Sensor dalam teknik pengukuran dan pengaturan secara elektronik berfungsi mengubah besaran fisik (misalnya : temperatur, gaya, kecepatan putaran) menjadi besaran listrik yang proposional. Sensor dalam teknik pengukuran dan pengaturan ini harus memenuhi persyaratan-persyaratan kualitas seperti linieritas, ketergantungan pada temperatur, stabilitas waktu dan histerisis. Keempat syarat itulah menentukan ketelitian sensor. Aplikasi sensor bisa ditemui dalam banyak peralatan konsumen, otomotif, laboratorium, pengelolaan lingkungan, konservasi energy, pabrikasi, industri, kedokteran, pertambangan, pertanian dan sebagainya. Aplikasi system sensor ini masih dan akan terus berkembang sesuai dengan kebutuhan. Penguasaan teknologi sangat diperlukan mengingat aplikasinya yang terus berkembang. (Hiskia, 2003)



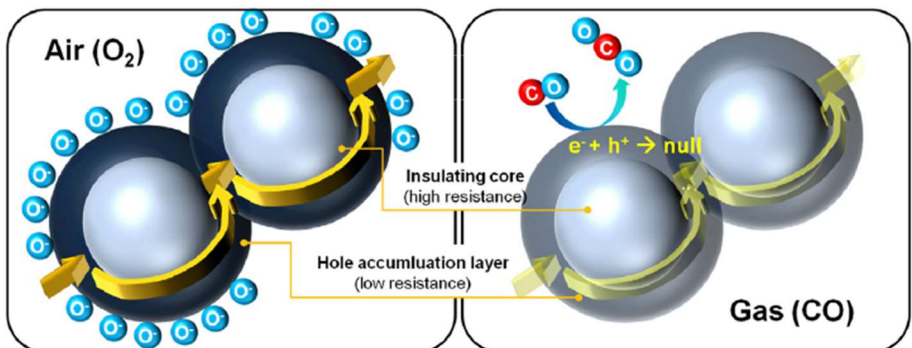
2.6.2 Prinsip Kerja Sensor Gas

Prinsip kerja sensor gas dapat diukur melalui perbedaan resistansi (tahanan) antara sebelum dan sesudah dipapar dengan sampel gas (pada umumnya menggunakan gas beracun), sehingga gas akan teradsorpsi atau menempel pada permukaan sensor. Jika sensor tersebut mendeteksi keberadaan gas-gas tersebut diudara dengan tingkat konsentrasi tertentu, maka sensor akan menganggap terdapat gas beracun di udara. Ketika sensor mendeteksi keberadaan gas tersebut maka resistansi elektrik sensor akan naik. Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari sensor ini, maka dapat mendeteksi adanya suatu gas di ruangan. (Herlinawati, 2010).

Sensor gas pada umumnya menggunakan material jenis semikonduktor karena memiliki karakteristik sifat elektrik semikonduktor dapat berubah karena adanya impuritas atom yang sangat kecil. Semikonduktor dapat berasal dari sifat murni materialnya (intrinsik) atau berasal dari impuritas (ekstrinsik). Semikonduktor ekstrinsik dibagi menjadi dua yaitu, *n-type* dan *p-type*. Perbedaan keduanya berada di mayoritas pembawa muatannya. Pada semikonduktor *n-type* pembawa muatan mayoritas adalah elektron bebas sedangkan pada *p-type* pembawa muatan adalah *holes*. Berikut ilustrasi mekanisme konduksi dari masing-masing jenis semikonduktor pada Gambar 2.6 dan 2.7.



Gambar 2.6 Mekanisme Konduksi Pada Semikonduktor *n-type*
(Kim, 2014)



Gambar 2.7 Mekanisme Konduksi Pada Semikonduktor *p-type*
(Kim, 2014)

Pada sensor gas berbasis polimer konduktif, yang salah satunya adalah polianilin. Polianilin merupakan semikonduktor *p-type*. Mekanisme penginderaan gas oleh polianilin adalah gas dengan sifat oksidatif dan reduktif mempengaruhi struktur kimia dari polianilin yang menghasilkan perubahan pada nilai konduktivitasnya. Untuk gas yang bersifat oksidatif, membuat konduktivitas polianilin meningkat dengan mekanisme protonasi. Ion positif dari gas tersebut dapat berikatan dan mengubah struktur polianilin. sehingga, polianilin memiliki ion positif tambahan yang



berefek kepada nilai konduktivitas yang meningkat. Sedangkan, untuk gas dengan sifat reduktif, membuat polianilin mengalami deprotonisasi atau kehilangan ion positif. Ion positif dari polianilin berpindah ke gas reduktif. Mengakibatkan menurunnya nilai konduktivitas. (Virji, 2004)

CuO yang juga merupakan semikonduktor *p-type* memiliki mekanisme penginderaan gas yang serupa dengan polianilin. Karena CuO semikonduktor *p-type*, proses konduksi mayoritas dilakukan oleh holes yang merupakan pembawa muatan positif. Karena CuO memiliki *holes* yang lebih banyak, oksigen pada udara teradsorpsi oleh CuO. Ion-ion negatif dari oksigen berpindah ke *holes* yang ada di CuO membentuk *holes accumulation layer*. Saat gas yang bersifat oksidatif teradsorpsi oleh permukaan CuO, ion-ion negatif dari gas berpindah ke *hole accumulation layer* yang mengakibatkan bertambahnya jumlah elektron dilapisan ini. Karena penambahan ini, mengakibatkan konduktivitas CuO meningkat. Sedangkan, saat gas yang reduktif teradsorpsi oleh CuO, ion-ion negatif di *hole accumulation layer* berpindah ke gas mengakibatkan menurunnya konduktivitas CuO. (Kim, 2014 dan Barsan, 2009)

2.6.3 Sensitivitas Terhadap Gas

Untuk mengetahui sensitivitas dari sensor gas dapat dilakukan dengan cara pengujian chamber dengan temperatur tertentu serta sampel gas yang dideteksi seperti (bensin, metana, *butane*, *carbon monoxyde*). Tahanan sensor dapat dihitung menggunakan metode konvensional dimana sensor tersebut akan dihubungkan dengan rangkaian external resistor yang memiliki tegangan tertentu (Wang, 2001).

Sensitivitas terhadap gas untuk semikonduktor *p-type* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = R_g/R_o \dots \dots \dots (2.3)$$

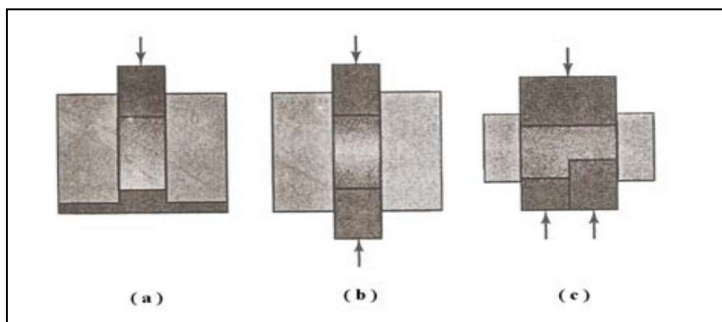
Dimana S adalah besarnya sensitivitas, sedangkan R_g adalah tahanan listrik sesudah terpapar oleh gas dan R_o adalah tahanan udara. (Kim, 2014).

Agar sensitivitas sensor semakin baik, ada beberapa sensor menggunakan heater yang berfungsi sebagai pemicu sensor untuk dapat mendeteksi target gas yang diharapkan setelah di beri tegangan tertentu.

2.7 Metode Kompaksi

Proses kompaksi adalah memampatkan serbuk sehingga serbuk akan saling melekat dan rongga udara antar partikel akan terdorong keluar. Semakin besar tekanan kompaksi jumlah udara (porositas) di antara partikel akan semakin sedikit, namun porositas tak mungkin mencapai nilai nol. Kompaksi dapat dilakukan dengan satu arah sumbu atau dua arah sumbu. Kompaksi dua arah ini bisa jadi dengan arah berlawanan.

Kebanyakan proses kompaksi menggunakan penekan (*punch*) atas dan bawah. Pada Gambar 2.6. terlihat berbagai jenis kompaksi yaitu *single punches*, *double punches* dan *multiple punches*. Penekan bawah sekaligus berfungsi sebagai injektor untuk mengeluarkan benda yang telah dicetak. Permukaan dalam cetakan (*die*) harus halus untuk mengurangi gesekan.



Gambar 2.8 Jenis-jenis Kompaksi (a) *single punches* (b) *double punches* (C) *multiple punches* (Kalpakjian, 2003)

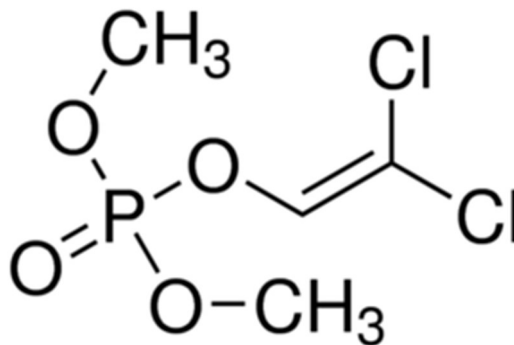


Proses kompaksi terdiri dari dua jenis metode yaitu *hot compaction* dan *cold compaction*. Kedua metode tersebut berfungsi dan berprinsip kerja yang hampir sama, yang paling membedakan adalah pada jenis *hot compaction* terjadi perlakuan panas disaat proses penekanan *punch* berlangsung, sedangkan *cold compaction* penekanan dilakukan pada temperatur dimana deformasi mekanik dapat diabaikan.

2.8 Pestisida Diklorvos

Pestisida adalah substansi yang digunakan untuk membunuh atau mengendalikan berbagai hama. Kata pestisida berasal dari kata *pest* yang berarti hama dan *cida* yang berarti pembunuh.

Diklorvos atau sering juga disebut DDVP, DCV merupakan pestisida yang digunakan untuk membunuh serangga. Sehingga diklorvos dimasukkan dalam kategori insektisida. Diklorvos merupakan pestisida jenis organofosfat, organofosfat adalah derivat dari *phosphoric acid* dan biasanya sangat toksik untuk hewan bertulang belakang. Golongan organofosfat struktur kimia dan cara kerjanya berhubungan erat dengan gas syaraf (Ardiyanto, 2009). Berikut gambar struktur kimia diklorvos pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur Kimia Diklorvos.



Diklorvos memiliki sifat toksik yang tinggi, senyawa tersebut mempengaruhi kinerja syaraf dalam serangga. Dengan tingkat konsentrasi yang tinggi, diklorvos dapat meracuni manusia dan beberapa hewan bertulang belakang lainnya. Sifat fisik dari diklorvos adalah berwujud larutan yang berwarna putih susu dan seperti minyak yang memiliki kelarutan 1g/100g dalam air. Titik didih larutan ini pada tekanan 1atm sebesar 140°C (Sittig, 1985).

Unsur fosfor yang terdapat didalam diklorvos memiliki muatan positif, karena ini diklorvos dapat mempengaruhi sifat konduktivitas dari komposit PANI/CuO. Selain itu, pada struktur kimia diklorvos terdapat ikatan ganda terhadap atom klor (Cl) yang mengakibatkan senyawa diklorvos kekurangan elektron. (Hosseini, 2010)

2.9 Penelitian Sebelumnya

2.9.1 Sintesis Polianilin

Adams, 1995 pada jurnalnya mensintesis polianilin menggunakan metode oksidasi kimia dengan amonium persulfat (APS) sebagai oksidator dan asam klorida (HCl) sebagai *dopant*. Metode dan formula perbandingan anilin, APS dan HCl yang digunakan dapat menghasilkan sekitar 9gram polianilin dalam sekali proses sintesis. Berikut formula yang digunakan, monomer anilin sebanyak 0.1mol (9.313gr) dicampurkan dengan larutan HCl 1M sebanyak 100ml didalam satu gelas beaker. Kedua larutan tersebut diaduk selama 1jam dengan *magnetic stirrer* kemudian memastikan pH larutan tersebut pada pH 1. Selanjutnya, APS dalam bentuk serbuk diambil sebanyak 0.125mol(28.52gr) dan dilarutkan kedalam 51.5ml aquades. Larutan anilin-HCl dan APS didinginkan hingga temperaturnya mencapai 0°C.

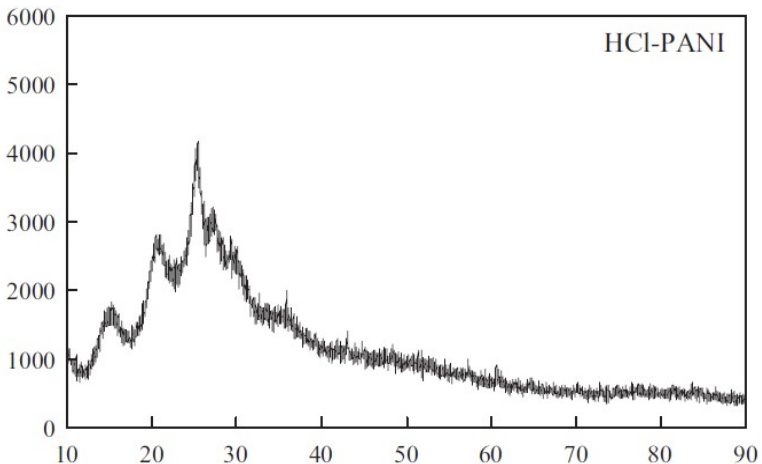
Formula tersebut digunakan juga oleh Liu, 2010 dengan beberapa penyesuaian untuk mendapatkan polianilin dengan fasa garam emeraldin. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut. Larutan anilin-HCl diaduk dengan *magnetic stirrer* kemudian dititrasi dengan larutan APS. Proses titrasi diatur selama 1jam kemudian dibiarkan diaduk selama 8jam untuk membiarkan



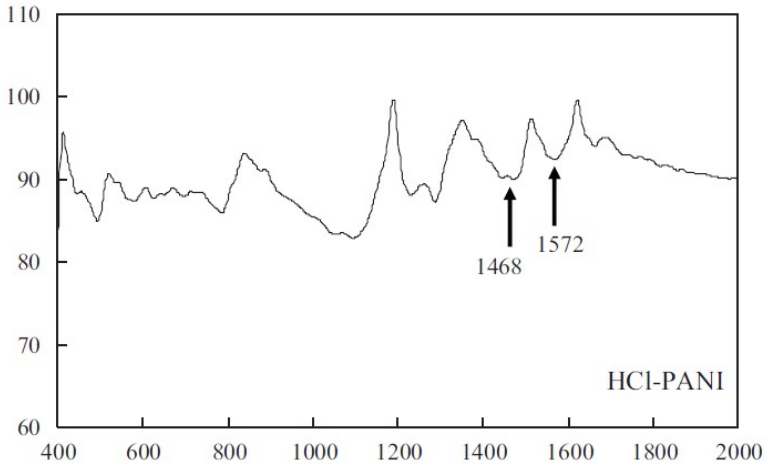
polimerisasi terjadi. Selama proses sintesis, kedua larutan dijaga temperaturnya di $0-5^{\circ}\text{C}$ dengan es batu.

Setelah proses polimerisasi selesai, terbentuk endapan berwarna hijau kehitaman yang membuktikan polianilin terbentuk dengan fasa garam emeraldin. Endapan ini dicuci dengan HCl 1M, acetone dan aquades. Kemudian endapan disaring diatas kertas saring lalu dikeringkan di udara selama 24jam dan di dalam oven 50°C selama 8jam.

Dalam jurnalnya, Liu, 2010 juga melakukan uji FTIR dan XRD. Berikut hasil pengujiannya pada Gambar 2.8 dan 2.9

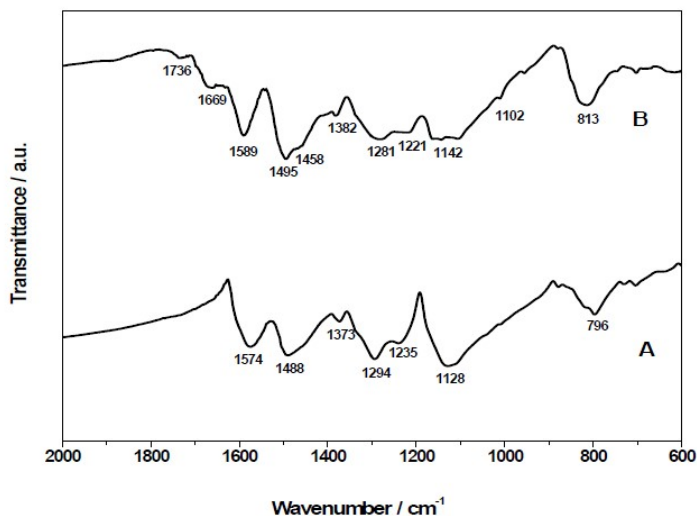


Gambar 2.10 Hasil XRD Polianilin (Liu, 2010)



Gambar 2.11 Hasil FTIR Polianilin (Liu, 2010)

Untuk karakterisasi polianilin, jurnal dari Gomes, 2012 juga memberikan referensi hasil uji FTIR polianilin dengan variasi jenis *dopant* yang digunakan yaitu HCl dan HCOOH. Pada Gambar 2.10 merupakan hasil pengujiannya.

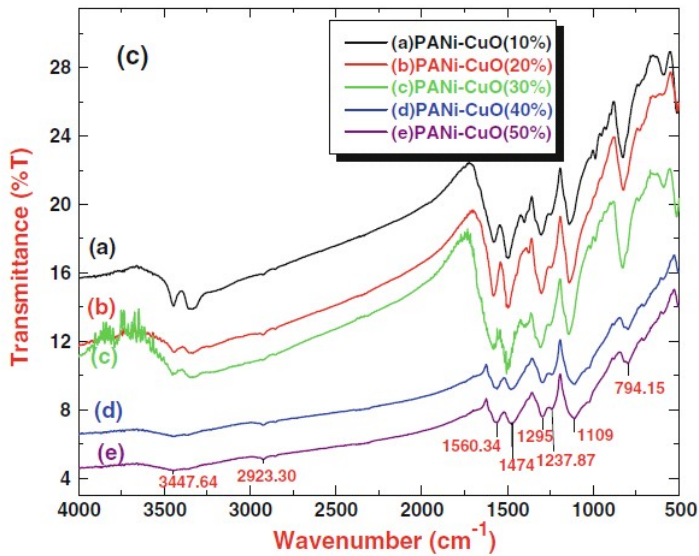


Gambar 2.12 Hasil FTIR Polianilin (A) PANI-HCl (B) PANI-HCOOH(Gomes, 2012)

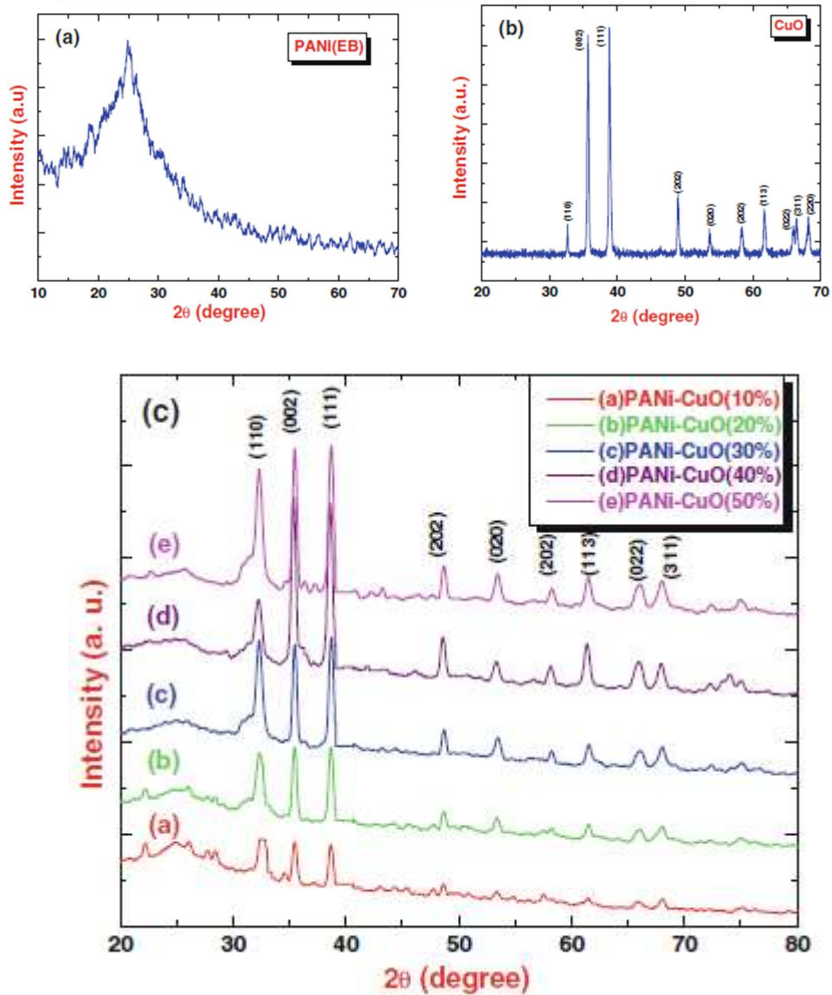
2.9.2 Komposit Polianilin/CuO

Pada tahun 2013, Jundale,dkk dalam jurnalnya melakukan sintesis dan studi karakterisasi, morfologi dan konduktivitas elektrik komposit PANI/CuO. Polianilin disintesis dengan metode oksidasi kimia dan CuO disintesis dari material *precursors*nya dengan metode *sol-gel*. Kedua material tersebut dicampur dengan pelarut *m-cresol* lalu di deposisikan pada substrat kaca dengan metode *spin coating*.

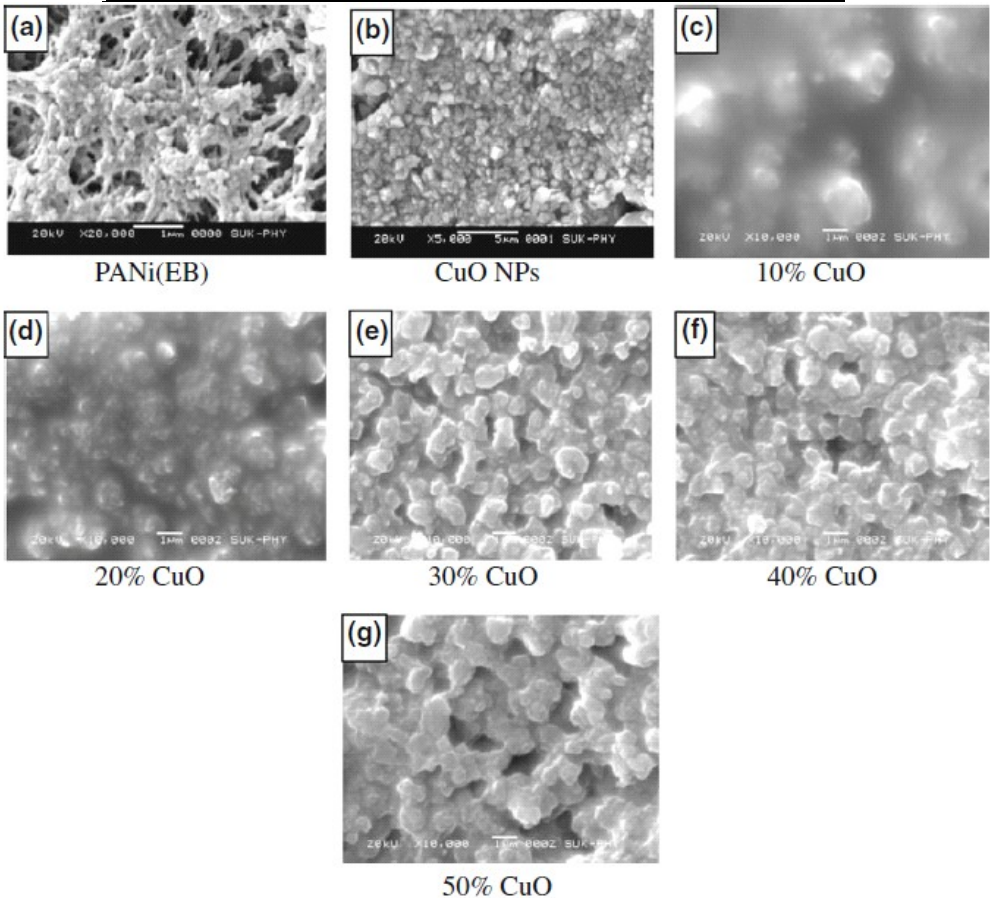
Pengujian yang dilakukan adalah pengujian FTIR, XRD, SEM dan konduktivitas elektrik. Berikut hasil pengujian dari Jundale dkk,2013 pada Gambar 2.11 sampai 2.13.



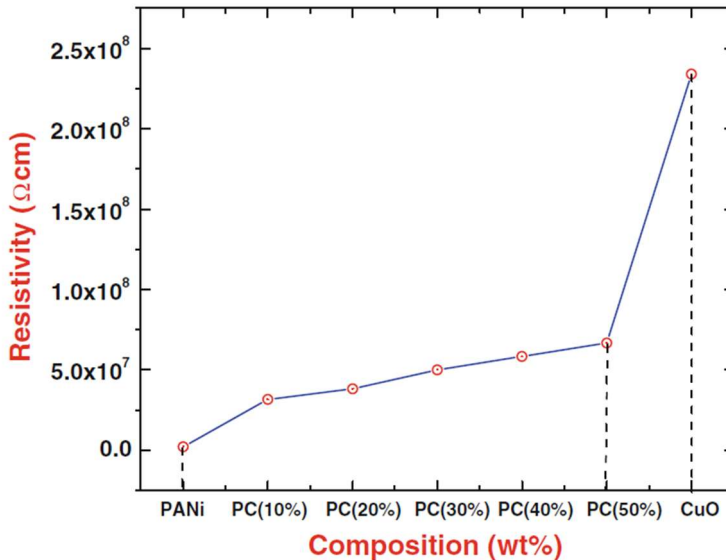
Gambar 2.13 Hasil FTIR Komposit (a) PANI/CuO 10% (b) PANI/CuO 20% (c) PANI/CuO 30% (d) PANI/CuO 40% (e) PANI/CuO 50% (Jundale, 2013)



Gambar 2.14 Hasil XRD Komposit (a) PANI EB (b) CuO (c) Komposit PANI/CuO



Gambar 2.15 Hasil SEM Komposit (a) PANI EB (b) CuO (c) PANI/CuO 10% (d) PANI/CuO 20% (e) PANI/CuO 30% (f) PANI/CuO 40% (g) PANI/CuO 50% (Jundale, 2013)



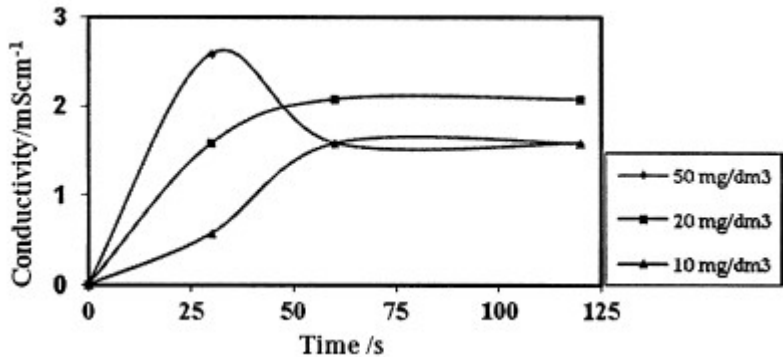
Gambar 2.16 Hasil Uji Resistivitas Komposit PANI/Cuo

2.9.3 Polianilin Sebagai Sensor Pestisida

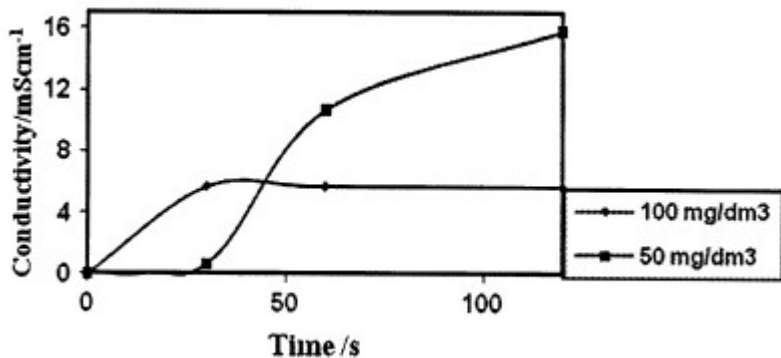
Dalam jurnalnya Hosseini, 2013 melakukan studi polianilin sebagai sensor pestisida berjenis organofosfor yaitu *dichlorvos*, *trichlorophon*, dan *chlorpyrifos*. Polianilin yang digunakan disintesis dari monomer anilin yang dilarutkan dalam larutan HCl dan dioksidasi dengan larutan APS. Selanjutnya serbuk polianilin di larutkan dalam pelarut NMP dan di *casting* ke substrat kaca. Polianilin yang telah *dicasting* di uji dalam ruang uji gas dengan volume tertentu. Pestisida dalam bentuk cair diambil dengan volume tertentu untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan kemudian dimasukkan ke ruang uji. Cairan pestisida dipanaskan sehingga membentuk uap pestisida. Spesimen uji dipaparkan dengan pestisida dalam waktu tertentu. Kemudian spesimen dikeluarkan dari ruang uji gas untuk diukur perubahan resistivitasnya. Perubahan resistivitas pada polianilin di amati



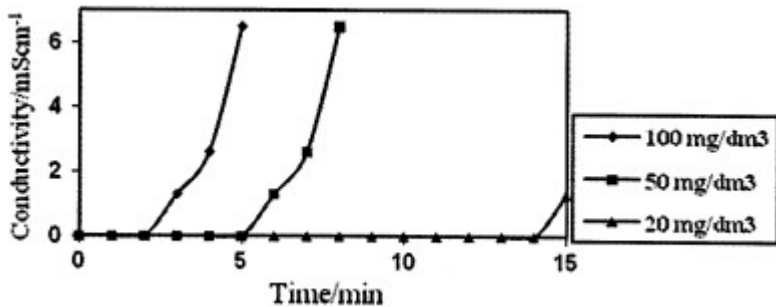
dengan alat *four point probe*. Berikut hasil dari penelitian Hosseini, 2013 pada Gambar 2.14 sampai 2.16.



Gambar 2.17 Pengaruh pestisida dichlorvos pada konduktivitas PANi dengan konsentrasi berbeda. (Hosseini, 2013)



Gambar 2.18 Pengaruh pestisida trichlorophon pada konduktivitas PANi dengan konsentrasi berbeda. (Hosseini, 2013)



Gambar 2.19 Pengaruh pestisida chlorpyrifos pada konduktivitas PANI dengan konsentrasi berbeda. (Hosseini, 2013)

Pada penelitiannya, pestisida dapat bereaksi dengan polianilin. Adanya uap pestisida (DCV, TCF, CPF) memberikan pengaruh terhadap konduktivitas elektrik polianilin. Setelah diuji dengan *dichlorvos* (DCV) polianilin mengalami peningkatan konduktivitas elektrik seiring dengan besarnya konsentrasi DCV. Pada Gambar 2.12 konsentrasi DCV 50mg/dm³ memiliki peningkatan konduktivitas yang paling tinggi. Sedangkan pestisida *trichlorphon* (TCF) kenaikan konduktivitas elektrik pada polianilin tidak seiring dengan konsentrasi TCF yang tinggi. Dilihat pada Gambar 2.13 saat konsentrasi TCF 100mg/dm³ kenaikan konduktivitasnya lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi 50 mg/dm³.

Pada pengujian terhadap pestisida *chlorpyrifos* (CPF) polianilin memiliki waktu respon yang lebih lama dibandingkan dengan dua pestisida sebelumnya tetapi tetap menaikkan konduktivitas elektrik polianilin.

Secara keseluruhan, polianilin merespon adanya uap pestisida melalui perubahan konduktivitas elektriknya. Walaupun pada pestisida jenis CPF membutuhkan waktu *sensing* yang lebih lama.

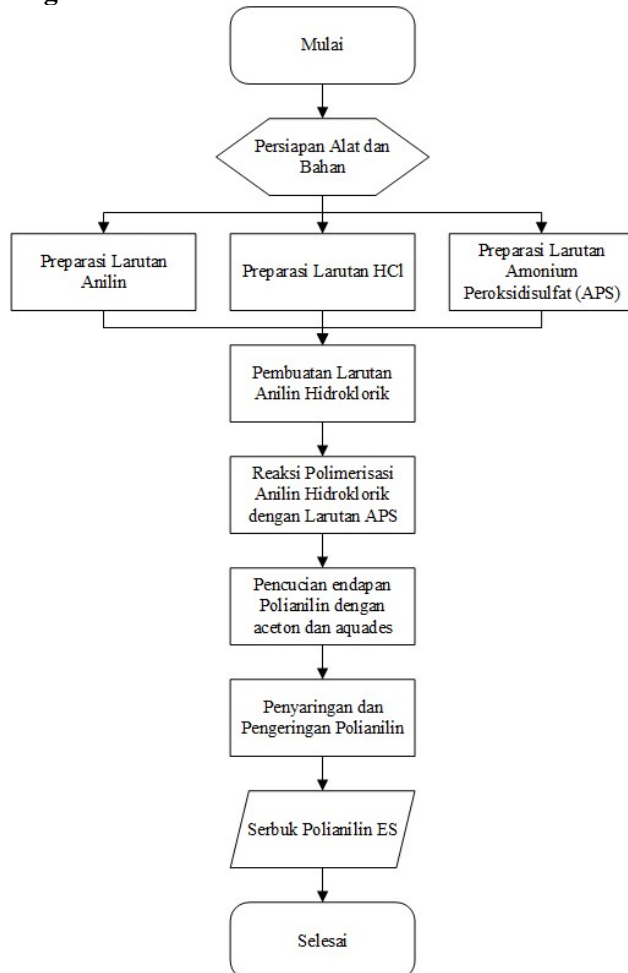


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

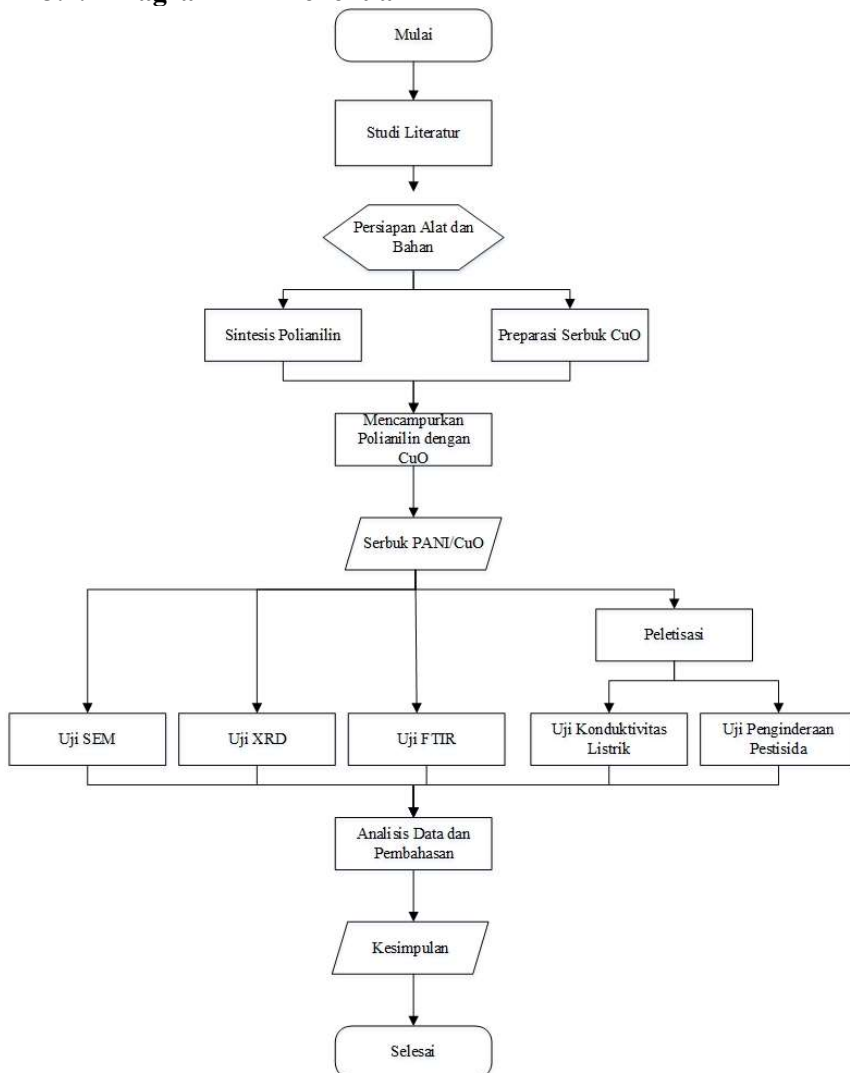
3.1.1 Diagram Alir Sintesis Polianilin



Gambar 3.1 Diagram Alir Sintesis Polianilin



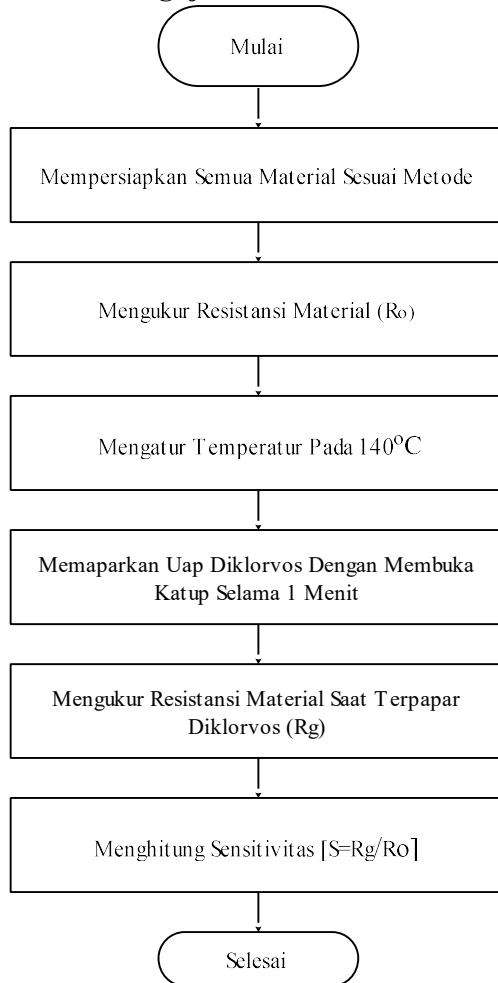
3.1.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



3.1.3 Diagram Alir Pengujian



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengujian Penginderaan.



3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Anilin, *analytical grade, Merck*
2. HCl, *SAP Chemical*
3. Amonium Peroksidisulfat (APS), *Merck*
4. Tembaga(II) Oksida (CuO), *Aldrich*
5. Aceton, *SAP Chemical*
6. Pestisida Diklorvos
7. Aquades

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Gelas Beaker 100ml, 300ml, 1000ml
2. Tabung Erlenmeyer
3. Corong
4. Pipet tetes
5. Buret dan statif
6. Termometer
7. Spatula
8. Timbangan digital
9. pH *paper*
10. Kertas saring
11. *Hot Plate-Magnetic Stirrer*
12. Oven
13. Mortar
14. *Alat Ultrasonic Cleaner*
15. Alat kompaksi
16. Alat FTIR
17. Alat XRD
18. Alat SEM
19. Alat LCR meter



3.3 Prosedur Penelitian

Sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.1 dan 3.2, prosedur penelitian akan dijelaskan secara rinci pada subbab ini.

3.3.1 Preparasi Larutan Anilin

Monomer anilin sebanyak 0.1mol (9.313gr) dicampurkan dengan larutan HCl 1M sebanyak 100ml didalam satu gelas beaker. Kedua larutan tersebut diaduk selama 1jam dengan *magnetic stirrer* kemudian memastikan pH larutan tersebut pada pH 1 dan didinginkan hingga temperaturnya mencapai 0°C (Liu, 2010).

3.3.2 Preparasi Larutan Amonium Peroksidisulfat (APS)

APS dalam bentuk serbuk diambil sebanyak 0.125mol(28.52gr) dan dilarutkan kedalam 51.5ml aquades. Larutan ini diaduk selama 1jam dengan *magnetic stirrer* kemudian didinginkan hingga temperaturnya mencapai 0°C (Liu, 2010).



3.3.3 Sintesis Polianilin ES



Gambar 3.4 Proses Sintesis Polianilin

Sintesis polianilin ES dilakukan dengan metode oksidasi kimia dengan larutan APS berfungsi sebagai oksidator dan HCl sebagai larutan pendoping. Larutan anilin-HCl diaduk dengan *magnetic stirrer* kemudian dititrasi dengan larutan APS. Proses titrasi diatur selama 1jam kemudian dibiarkan diaduk selama 8jam untuk membiarkan polimerisasi terjadi. Selama proses sintesis, kedua larutan dijaga temperaturnya di 0-5 °C dengan es batu.

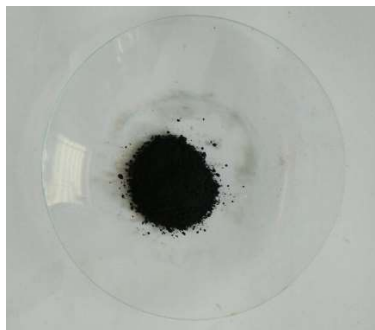
Setelah proses polimerisasi selesai, terbentuk endapan berwarna hijau kehitaman yang membuktikan polianilin terbentuk dengan fasa garam emeraldin. Endapan ini dicuci dengan HCl 1M, aceton dan aquades. Kemudian endapan disaring diatas kertas saring lalu dikeringkan di udara selama 24jam dan di dalam oven 50°C selama 8jam (Liu, 2010).

Dengan metode ini, serbuk polianilin ES sebanyak 9 gram berhasil disintesis.

3.3.4 Prosedur Pembuatan Komposit PANI/CuO



Gambar 3.5 Serbuk Polianilin



Gambar 3.6 Serbuk CuO

Serbuk polianilin ES dari hasil sintesis dicampurkan dengan serbuk CuO dengan 4 variasi komposisi massa 0, 10, 20, dan 30 %. Pencampuran kedua serbuk dilakukan selama 1jam dengan alat *ultrasonic cleaner* yang ada di Departemen Fisika FMIPA ITS.

3.3.5 Prosedur Pembuatan Pellet

Serbuk Komposit PANI/CuO yang sudah terbentuk digunakan untuk pengujian karakterisasi FTIR, XRD dan SEM. Namun untuk mengetahui konduktivitas elektrik dan penginderaan



pestisida, dibutuhkan sampel dalam bentuk pejal dan berdimensi. Sehingga kompaksi dilakukan.

Sebelum dilakukan kompaksi, pengukuran massa jenis dari komposit PANI/CuO dibutuhkan untuk dapat menghitung massa yang diperlukan pada proses kompaksi.

Pengukuran massa jenis komposit dilakukan dengan perhitungan *rule of mixture* antara massa jenis PANI dengan CuO. Massa jenis PANI diketahui dengan cara mengkompaksi serbuk PANI sebanyak 1gram kemudian diukur dimensi hasil kompaksinya. Dengan mengetahui volume dan massa, maka dapat dihitung massa jenisnya. Sedangkan untuk massa jenis CuO, diketahui dari *sigma aldrich* yang sebesar 6.31 gram/cm^3 . Kemudian dilakukan perhitungan *rule of mixture* dengan persentase massa untuk mengetahui massa yang dibutuhkan dalam pembuatan pellet komposit PANI/CuO.

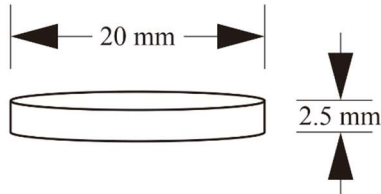
Tabel 3.1 Massa Komposit PANI/CuO Yang Digunakan Pada Proses Kompaksi

Material	Massa Kompaksi (gram)
PANI	1.10
PANI/CuO 10%	1.20
PANI/CuO 20%	1.43
PANI/CuO 30%	1.60



Gambar 3.7 Alat Kompaksi Dan Cetakan (dies)

Diameter *dies* yang digunakan sebesar 20mm dan ketebalan pellet yang direncanakan sebesar 2.5mm. Beban tekan diberikan sebesar 200bar. Proses kompaksi dilakukan di Laboratorium Fisika Material Departemen Material ITS.



Gambar 3.8 Dimensi Pellet.



Gambar 3.9 Pellet Komposit Hasil Kompaksi

3.4 Karakterisasi dan Pengujian

Karakterisasi dan pengujian dilakukan pada 4 variasi sampel dengan rancangan pada Gambar 3.1.

3.4.1 *Fourier Transormation Infrared (FTIR)*

Pada penelitian ini dilakukan pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi ikatan kimia dari komposit PANI/CuO hasil sintesis. Alat FTIR yang digunakan memiliki spesifikasi *Thermo Scientific Nicolet IS10* yang berada di Departemen Teknik Material ITS.



3.4.2 X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD)

Pengujian XRD dilakukan di Departemen Teknik Material FTI-ITS Surabaya. Pengujian XRD memiliki tujuan untuk memastikan adanya *filler* CuO dan melihat persebaran *filler* CuO dalam matriks polianilin. Untuk mengetahui tingkat persebaran dari *filler* dilihat dari grafik hasil XRD dengan sumbu x berupa 2θ dan sumbu y berupa intensitas. Analisis persebaran *filler* didasarkan oleh jarak 2θ antar puncak intensitas *filler* CuO.

3.4.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dari komposit PANI/CuO. Alat SEM yang digunakan ialah SEM dengan spesifikasi FEI INSPECT S50. Yang berada di Departemen Teknik Material ITS.

3.4.4 Pengujian Konduktivitas Elektrik

Pengujian Konduktivitas elektrik dilakukan dengan sampel komposit berbentuk pellet menggunakan LCR meter untuk mengukur resistivitas komposit. Peralatan LCR meter yang digunakan adalah SANWA LCR700 yang berada di Departemen Teknik Elektro ITS. Pengukuran resistivitas elektrik dilakukan pada setiap variabel komposit. Data resistivitas elektrik digunakan untuk mencari resistivitas spesifik dengan persamaan 3.1 kemudian dikonversi menjadi konduktivitas elektrik spesifik dengan persamaan 3.2 berikut.

$$\rho = \frac{RA}{l} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana ρ adalah resistivitas spesifik material ($\Omega \cdot \text{cm}$), R adalah resistivitas dalam rangkaian (Ω), l merupakan jarak antara dua titik pengukuran (cm) dan A merupakan luasan yang tegak lurus terhadap arah arus (cm^2).

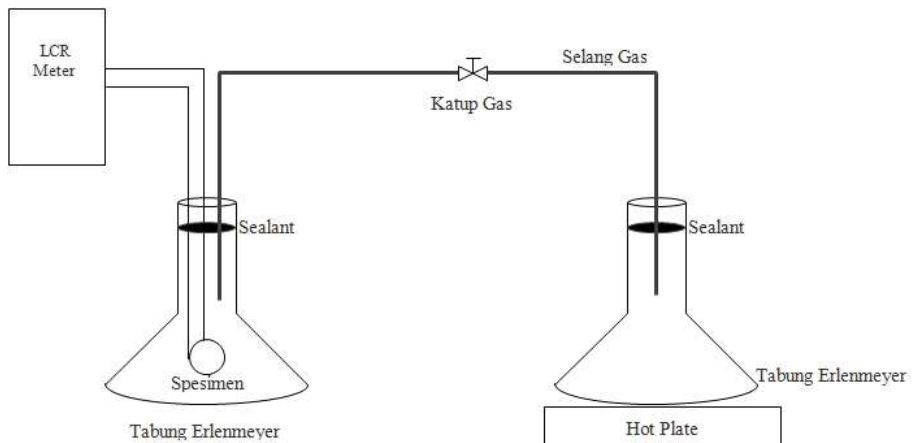


$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots \dots \dots (3.2)$$

σ adalah konduktivitas spesifik material. σ merupakan kebalikan dari ρ .

3.5 Pengujian Penginderaan Pestisida

Spesimen komposit PANI/CuO yang telah dikompaksi kemudian dilakukan uji penginderaan terhadap gas pestisida jenis dichlorvos dengan menggunakan alat LCR meter. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.5. rangkaian uji terdiri dari 2 gelas erlenmeyer, LCR meter, selang dan katup gas.



Gambar 3.10 Rangkaian pengujian penginderaan gas.

Spesimen komposit PANI/CuO disambungkan dengan LCR meter kemudiann diletakkan didalam tabung erlenmeyer yang tertutup dengan tekanan yang dianggap konstan (1atm) dan temperatur pengujian dianggap konstan pada 30°C. Pada tahap ini, LCR meter mengukur resistivitas spesimen komposit didalam udara.

Selanjutnya, larutan pestisida diklorvos dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer kedua lalu dipanaskan dengan hot plate hingga menguap. Kemudian katup gas dibuka untuk mengaliri uap



pestisida ke tabung erlenmeyer pertama. Setelah teraliri oleh uap pestisida, spesimen komposit PANI/CuO diukur resistivitas elektriknya. Proses ini diulang untuk variabel uji yang lainnya. Dari perbedaan resistivitas antara resistivitas komposit pada udara dan pada gas uji dapat dihitung sensitivitas komposit terhadap gas uji dengan persamaan 3.3 berikut.

$$S = \frac{R_g}{R_o} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dengan S adalah sensitivitas, R_g adalah resistivitas pada gas uji dengan satuan ohm (Ω) dan R_o adalah resistivitas pada udara dengan satuan ohm (Ω).

3.6 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Material			Pengujian				
Matriks Polianilin (wt%)	Filler CuO (wt%)	Kode Sampe l	Uji SEM	Uji XRD	Uji FTIR	Uji Konduktivitas Elektrik	Uji Sensin g Gas
100	0	PANI	√	√	√	√	√
90	10	PC1	√	√	√	√	√
80	20	PC2	√	√	√	√	√
70	30	PC3	√	√	√	√	√

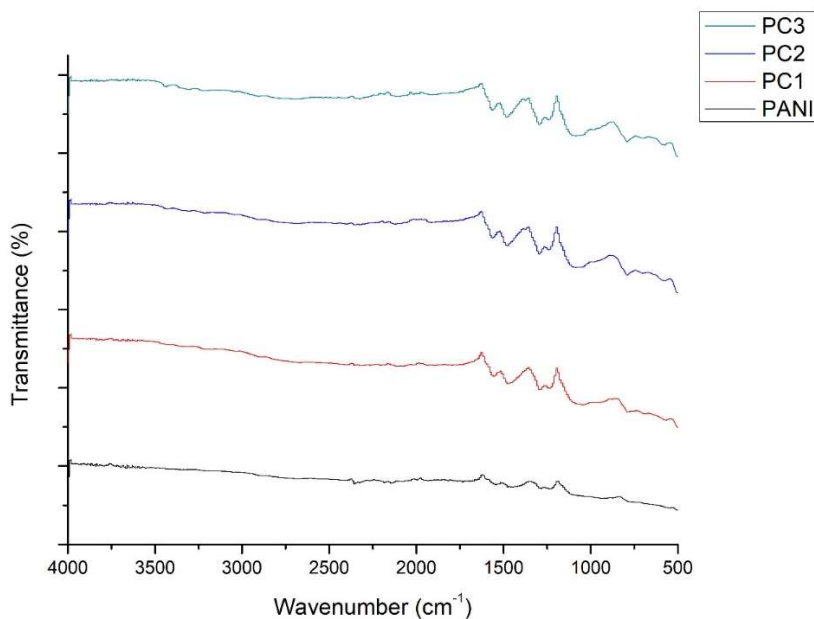
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Analisis Hasil Uji FTIR

Komposit PANI/CuO hasil sintesis diuji dengan alat FTIR untuk membuktikan terbentuknya polianilin serta pengaruh penambahan CuO.



Gambar 4.1 Spektrum FTIR Komposit PANI/Cuo Pada Variasi Komposisi Massa 0, 10, 20, dan 30%.



Tabel 4.1 Daftar Peak Spektrum FTIR Komposit PANI/CuO

	<i>Wavenumber (cm⁻¹)</i>			Gugus
PANI	PC1	PC2	PC3	
1574	1558	1570	1564	Peregangan C=C cincin quinoid
1460	1475	1481	1474	Peregangan C-C cincin benzenoid
1385	1380	1382	1375	Peregangan C-N cincin quinoid
1287	1291	1293	1294	Peregangan C-N cincin benzenoid
1237	1238	1240	1241	Peregangan struktur polaron C-N ⁺ •
1084	1080	1087	1083	Vibrasi struktur-NH ⁺ =

Hasil uji FTIR polianilin pada Gambar 4.1 menunjukkan adanya puncak spektrum pada bilangan gelombang 1574cm⁻¹ dan 1460cm⁻¹ yang menunjukkan peregangan pada ikatan C=C gugus quinoid dan C-C gugus benzenoid. Gugus ini adalah gugus cincin yang ada pada semua fasa polianilin. Yang membedakan adalah perbandingan antara gugus quinoid dengan benzenoid. Pada polianilin fasa emeraldin, memiliki rasio 1:3. Perbandingan gugus ini dapat diketahui melalui transmitansi dari kedua puncak. Dalam pengujian ini, mengindikasikan polianilin yang terbentuk adalah polianilin dengan fasa emeraldin.

Pada bilangan gelombang 1385 cm⁻¹ terdapat puncak yang memiliki intensitas rendah, puncak ini menunjukkan peregangan ikatan C-N disamping cincin quinod. Puncak pada 1287 cm⁻¹ menunjukkan peregangan ikatan C-N pada cincin benzenoid. Karakteristik spektrum polianilin yang bersifat konduktif (terdoping) terdapat pada puncak 1237 cm⁻¹. Puncak ini menandakan peregangan struktur polaron C-N⁺•, yang terbentuk



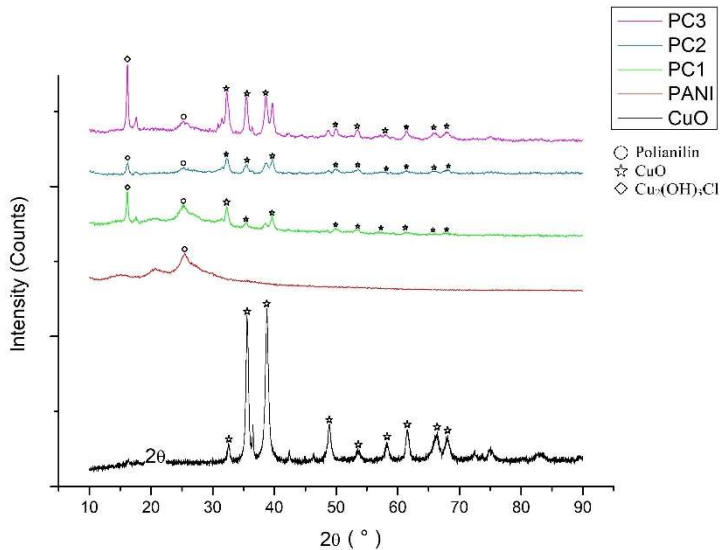
dari hasil doping polianilin dengan asam. Pada bilangan gelombang 1084 cm^{-1} terdapat puncak spektrum yang menandakan vibrasi dari struktur $\text{-NH}^+=$, struktur ini terbentuk dari proses doping polianilin dengan asam (Gomes, 2012). Daftar puncak FTIR dapat dilihat pada Tabel 4.1. Menurut penelitian sebelumnya (Gomes, 2012 & Geethalakshmi 2013) hasil dari uji FTIR ini menunjukkan polianilin berhasil terbentuk dengan fasa garam emeraldin.

Pada Gambar 4.1 menunjukkan spektrum polianilin dan komposit PANI/CuO dengan variasi komposisi massa. Dari gambar tersebut, puncak-puncak pada spektrum FTIR mengalami pergeseran bilangan gelombang dan kenaikan persentase transmitansi. Daftar puncak-puncak FTIR dapat dilihat pada tabel 4.1 diatas. Pergeseran bilangan gelombang ini tidak berbeda jauh dibandingkan polianilin sendiri. Penambahan CuO pada matriks polianilin tidak mempengaruhi tingkat oksidasi dari polianilin. Dengan kata lain, polianilin yang telah dijadikan komposit, memiliki fasa yang tetap sama yaitu polianilin garam emeraldin.

4.3.2 Analisis Hasil Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada komposit PANI/CuO. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Philips Analytical, terhadap sampel serbuk. Pengujian dilakukan dengan sinar X menggunakan range sudut yang tergolong panjang, yakni $0^\circ\text{-}90^\circ$ dan menggunakan panjang gelombang sebesar 1.54056 \AA .

Analisis peak XRD dilakukan dengan menggunakan *software match* dan *highscore* dan dicocokkan dengan ICDD untuk melihat senyawa yang terkandung didalam sampel uji. Hasil XRD CuO, PANI dan komposit PANI/CuO dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Spektrum XRD CuO, PANI Dan Komposit PANI/CuO Pada Variasi Komposisi Massa 10, 20, dan 30%.

Spektrum XRD dari CuO dianalisis dengan menggunakan software highscore. Spektrum CuO memiliki puncak-puncak pada sudut 2θ 35.62, 36.46, 38.72, 48.79, 53.78, 58.26, 61.54, 66.37, dan 68.10°. Puncak-puncak ini sesuai dengan ICDD number 01-089-5885 yang menunjukkan senyawa CuO. Hasil pengujian ini sesuai dengan literatur pembandingan dari Jundale, 2013.

Dengan menggunakan *software highscore* spektrum XRD milik PANI dianalisis. Terdapat *peak* pada sudut 25.46°, peak tersebut dianalisis dan memiliki sudut yang paling mendekati dengan ICDD number 00-053-1717. Pada ICDD, sudutnya sebesar 31.08°. Perbedaan yang cukup jauh dari sudut puncak eksperimen dengan sudut puncak referensi diakibatkan oleh struktur PANI yang amorfus. Hasil analisis ini bila dibandingkan dengan



penelitian sebelumnya oleh Jundale, 2013 yang mendapatkan hasil yang sama yaitu pada sudut $24-25^\circ$. Peak yang didapatkan memiliki bentuk yang sama, yaitu peak yang melebar. Menurut literatur pembandingan tersebut, peak ini menunjukkan senyawa PANI.

Dari hasil analisis spektrum XRD milik komposit PANI/CuO 10%, pada spektrum tersebut memiliki peak pada sudut 2θ 16.13, 25.23, 32.24, 35.48, 39.64, 49.83, 53.61, 56.33, dan 67.72° . Puncak pada 25.23° memiliki bentuk dan sudut yang serupa dengan spektrum XRD PANI. Dari analisis sebelumnya, *peak* yang melebar dan berada pada range sudut $24-25^\circ$ menandakan peak polianilin. Dengan adanya penambahan CuO memunculkan adanya puncak-puncak baru pada sudut 32.24, 35.48, 39.64, 49.83, 53.61, 56.33, dan 67.72° . Puncak tersebut menurut analisis dengan *software highscore* dan dicocokkan dengan ICDD number 01-089-5895 menunjukkan senyawa CuO dengan fasa tenorite. Tetapi, ada beberapa pergeseran peak antara peak eksperimen dengan peak ICDD. Hal ini terjadi karena persentase CuO yang ada dalam komposit PANI/CuO sangat rendah yaitu 10%. Jadi, polianilin yang memiliki struktur amorfus mempengaruhi pergeseran puncak-puncak tersebut. Namun, terdapat pula peak yang tinggi pada sudut 16.13° . Setelah di analisa, puncak ini sesuai dengan ICDD number 01-087-0679 yang menunjukkan bahwa peak ini adalah $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$.

Hasil analisis spektrum XRD komposit PANI/CuO 20% adalah sebagai berikut. Spektrum ini memiliki puncak-puncak pada sudut 2θ 16.21, 25.12, 32.21, 35.54, 39.62, 49.89, 53.61, 57.56, 61.29, 65.88, dan 68.19° . Puncak pada sudut 25.12° sesuai dengan literatur pembandingan (Jundale, 2013) yaitu menunjukkan senyawa PANI walaupun memiliki perbedaan sudut yang cukup jauh bila dibandingkan dengan ICDD number 00-053-1717. Kemudian, puncak pada sudut 2θ 32.21, 35.54, 39.62, 49.89, 53.61, 57.56, 61.29, 65.88, dan 68.19° , puncak-puncak tersebut setelah dibandingkan dengan ICDD number 01-089-5895



menunjukkan senyawa CuO walaupun terdapat pergeseran antara sudut eksperimen dengan referensi. Pergeseran ini akibat PANI yang memiliki struktur amorfus. Terdapat juga puncak pada sudut 16.13° . dengan menggunakan *software match* dan *highscore*, puncak tersebut sesuai dengan ICDD number 01-087-0679 yang menunjukkan senyawa $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$.

Pada spektrum XRD komposit PANI/CuO 30%, terdapat puncak-puncak pada sudut 2θ 16.16 , 25.12 , 32.22 , 35.59 , 38.55 , 53.41 , 58.08 , 61.39 , 65.67 , dan 68.01° . Puncak pada sudut $25.12^\circ 2\theta$ sesuai dengan literatur pembanding (Jundale, 2013) yaitu menunjukkan senyawa PANI walaupun memiliki perbedaan sudut yang cukup jauh bila dibandingkan dengan ICDD number 00-053-1717. Kemudian, terdapat juga puncak-puncak pada sudut 2θ 32.22 , 35.59 , 38.55 , 53.41 , 58.08 , 61.39 , 65.67 , dan 68.01° . Puncak tersebut setelah dibandingkan dengan ICDD number 01-089-5895 menunjukkan senyawa CuO walaupun terdapat pergeseran antara sudut eksperimen dengan referensi. Pergeseran ini akibat PANI yang memiliki struktur amorfus. Selanjutnya, puncak pada sudut 16.16° , setelah di analisis, puncak tersebut sesuai dengan ICDD number 01-087-0679 yang menunjukkan senyawa $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$.

Apabila spektrum XRD dari CuO, PANI dan komposisinya dibandingkan, perbedaan komposisi massa CuO mempengaruhi puncak-puncak pada spektrum XRD. Dengan semakin besar komposisi massa CuO dalam komposit PANI/CuO membuat puncak polianilin (sekitar 25°) semakin melemah intensitasnya. Kemudian, dengan besarnya komposisi massa CuO juga mempengaruhi intensitas tiga puncak pada sudut sekitar $30-40^\circ$. Menurut analisis yang sudah dilakukan ketiga puncak tersebut menunjukkan senyawa CuO, maka dengan bertambahnya komposisi massa CuO pada komposit, mengakibatkan semakin tingginya intensitas puncak CuO. Puncak CuO yang terpengaruh juga terdapat pada sudut $50-70^\circ$, dalam jangkauan sudut tersebut ada enam puncak dengan intensitas kecil yang menunjukkan CuO

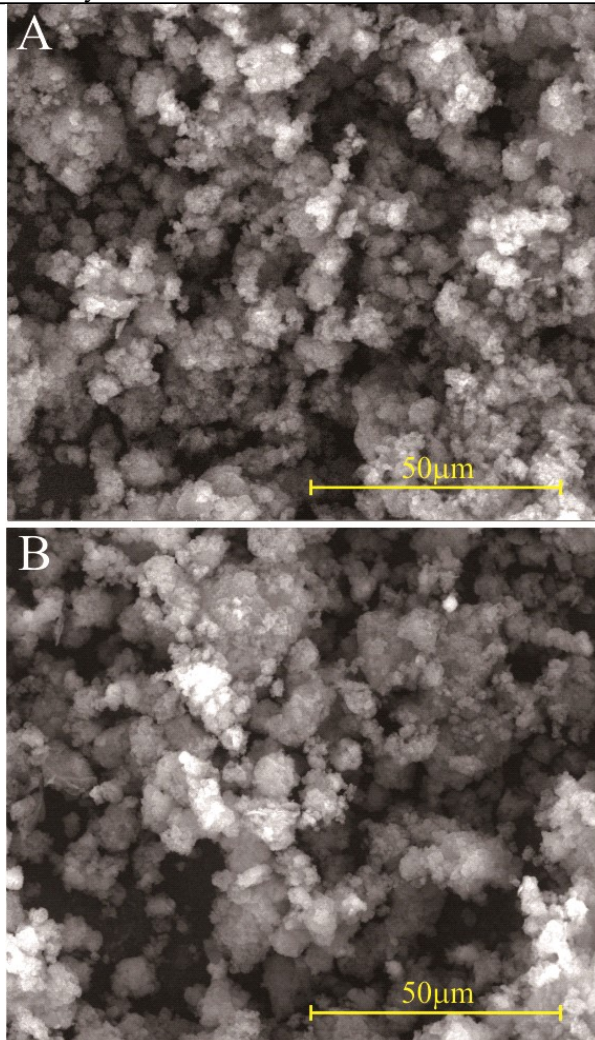


juga. Semakin tingginya komposisi massa, semakin tinggi intensitas puncak-puncakk tersebut. Hasil XRD dari komposit PANI/CuO sesuai dengan literatur pembandingan yaitu Jundale, 2013 yang grafik XRD dapat dilihat pada Gambar 2.12.

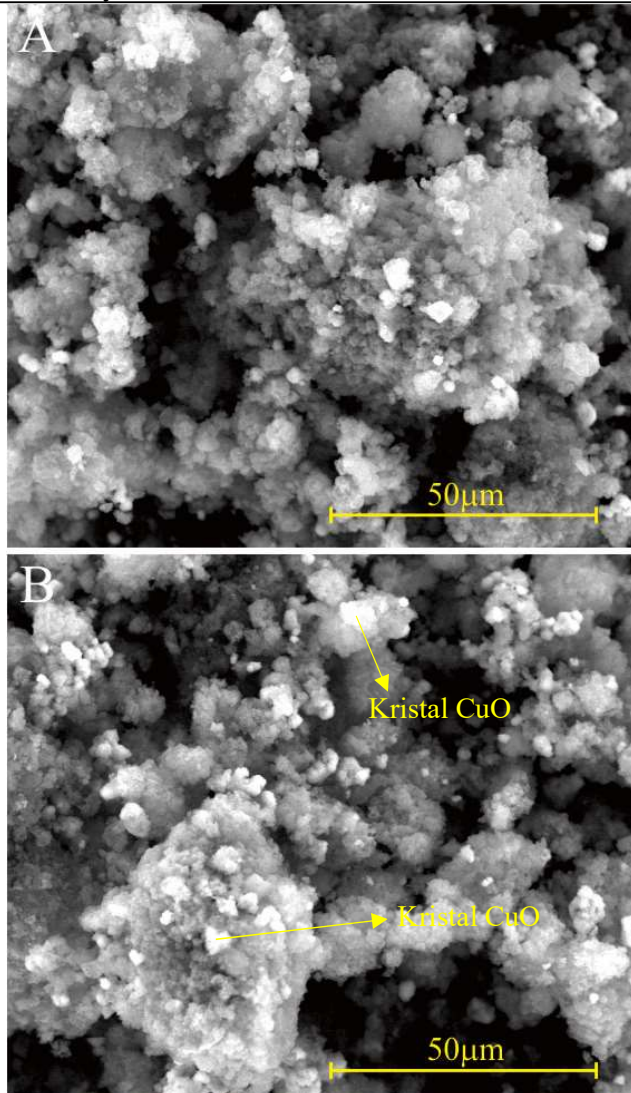
Namun, pada penelitian ini terdapat perbedaan yaitu munculnya senyawa $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$. Senyawa ini hanya terdapat pada sampel uji komposit PANI/CuO, tidak terdapat pada sampel uji CuO maupun PANI. Dari pengamatan ini, kemungkinan terbentuknya senyawa $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ adalah pada saat pencampuran komposit PANI/CuO. Senyawa $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ adalah mineral tembaga yang terbentuk dari CuCl_2 yang bereaksi dengan H_2O . Senyawa CuCl_2 sendiri terbentuk dari CuO yang bereaksi dengan HCl. Diperkirakan pada saat pencampuran antara PANI dengan CuO, matriks PANI belum sepenuhnya kering dan masih mengandung HCl dan air (H_2O). Akibatnya terbentuk mineral tembaga $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$.

4.3.3 Analisis Hasil Uji SEM

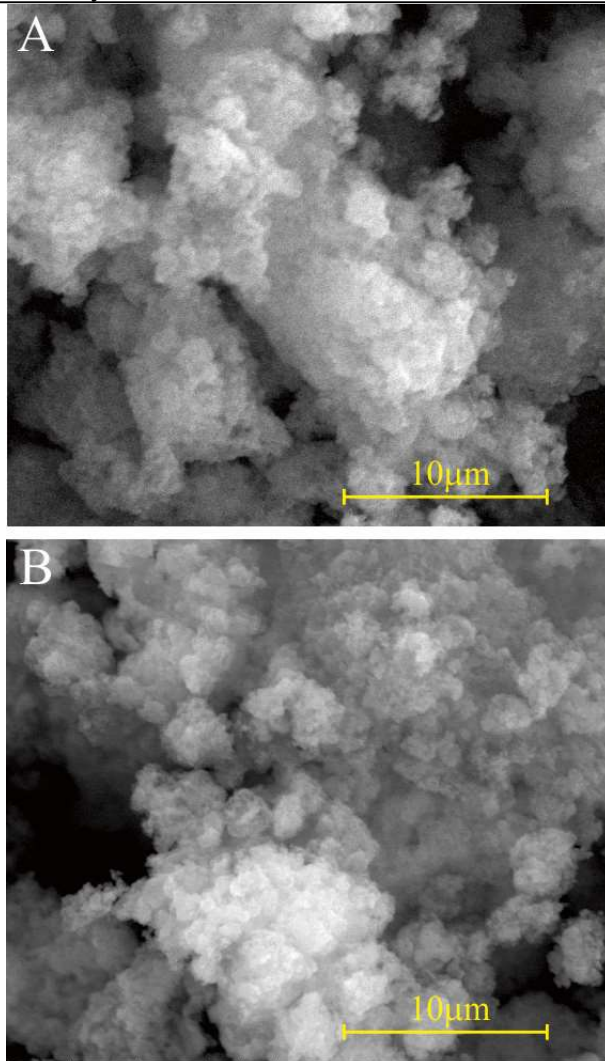
Pengujian SEM dilakukan untuk menganalisa morfologi dari komposit PANI/CuO dalam bentuk serbuk. Berikut hasil SEM dengan perbesaran 2500x, 10000x, dan 25000x pada Gambar 4.3-4.9.



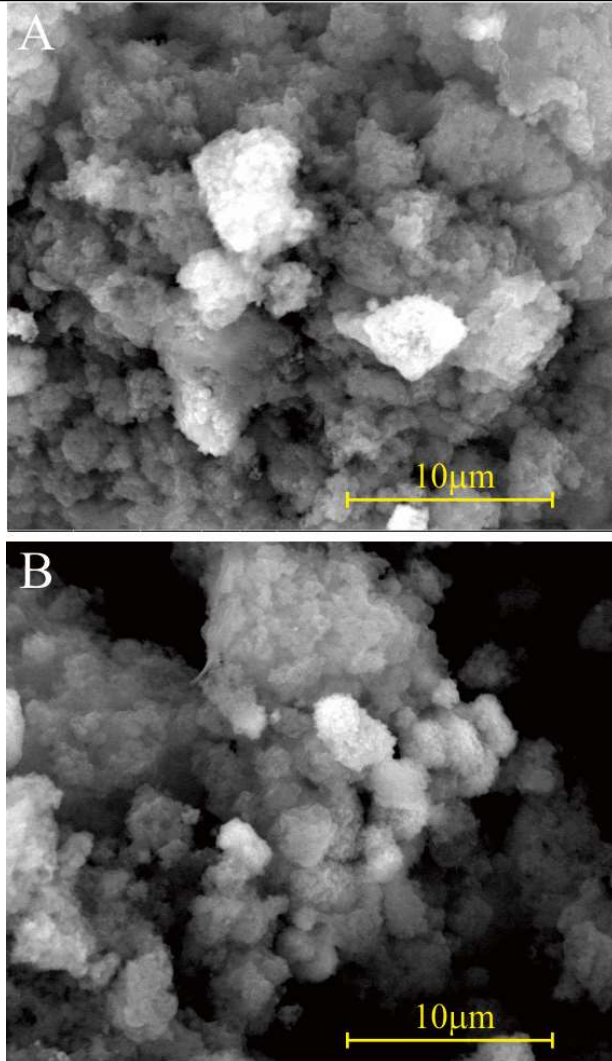
Gambar 4.3 Hasil SEM Perbesaran 2500x (A) PANI (B) PANI/CuO 10%



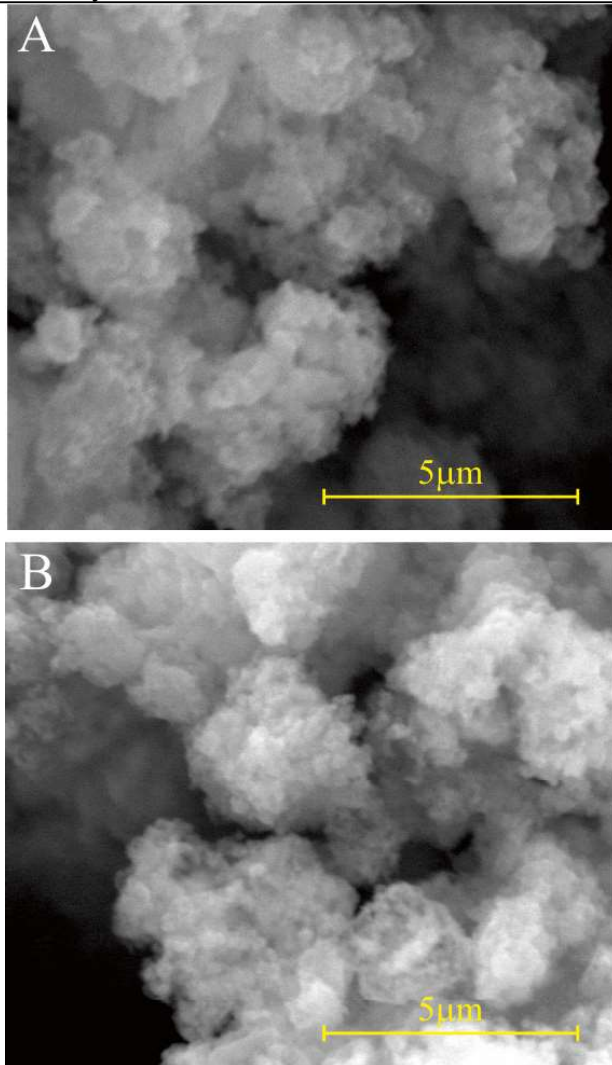
Gambar 4.4 Hasil SEM Perbesaran 2500x (A) PANI/CuO 20%
(B) PANI/CuO 30%



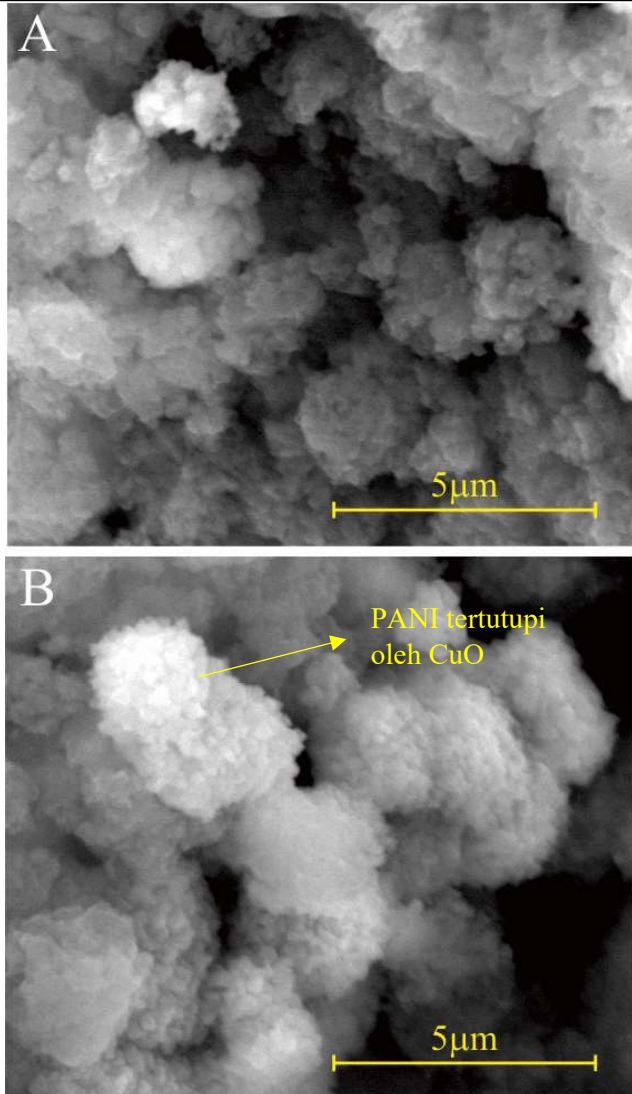
Gambar 4.5 Hasil SEM Perbesaran 10000x (A) PANI (B)
PANI/CuO 10%



Gambar 4.6 Hasil SEM Perbesaran 10000x (A) PANI/CuO 20%
(B) PANI/CuO 30%



Gambar 4.7 Hasil SEM Perbesaran 25000x (A) PANI (B)
PANI/CuO 10%



Gambar 4.8 Hasil SEM Perbesaran 25000x (A) PANI/CuO 20%
(B) PANI/CuO 30%



Gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan hasil SEM dengan perbesaran 2500x. Dari keempat gambar tersebut, terlihat morfologi dari komposit PANI/CuO mengalami perbedaan. Pada sampel PANI, polianilin memiliki morfologi *spherical* dan partikel-partikel ini cenderung mengaglomerasi. Perbedaan morfologi mulai jelas terlihat pada sampel PANI/CuO 30%. Penggumpalan partikel semakin besar dan pada permukaan partikel tersebut memiliki bentuk yang lebih kasar bila dibandingkan dengan sampel PANI.

Pada perbesaran 10000x penggumpalan partikel PANI/CuO lebih terlihat. Gambar 4.5A dan 4.6B menunjukkan perbedaan yang lebih terlihat. Gambar 4.6B menunjukkan adanya partikel dengan bentuk kristal yang menutupi permukaan partikel polianilin. Gambar 4.5A memperlihatkan morfologi *spherical* dari polianilin. Terbentuknya morfologi tersebut dipengaruhi oleh rasio mol antara APS dan Anilin yang digunakan saat sintesis serta temperatur sintesis (Tang, 2011).

Hasil SEM perbesaran 25000x menunjukkan adanya partikel CuO diantara partikel polianilin. Bila dilihat antara gambar 4.7A dengan 4.8B terdapat perbedaan morfologi akibat penambahan CuO. Partikel CuO terlihat menutupi permukaan partikel polianilin menghasilkan morfologi partikel yang teraglomerasi dengan permukaan yang kasar.

Dari seluruh hasil SEM komposit PANI/CuO menunjukkan partikel polianilin dengan struktur amorfus yang ditandai oleh *grain* yang saling terhubung sedangkan partikel CuO memiliki struktur kristal dengan bentuk *sphere*. Partikel CuO dapat dibedakan dengan polianilin dari tingkat kecerahan pada gambar. Partikel yang lebih cerah menandakan CuO dan yang lebih gelap adalah polianilin. CuO memiliki struktur kristalin yang dapat memantulkan elektron lebih besar daripada polianilin yang amorfus sehingga memperlihatkan partikel yang lebih cerah pada gambar SEM. Partikel komposit terlihat teraglomerasi. Partikel komposit yang teraglomerasi membentuk *sphere* berukuran besar yang terdiri partikel yang lebih kecil, hal ini menyebabkan luas



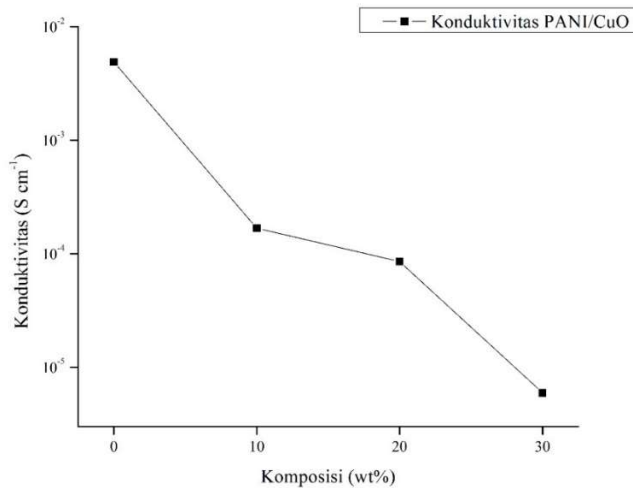
permukaan partikel berkurang dan berakibat berkurangnya nilai sensitivitas terhadap gas uji. Penambahan CuO mempengaruhi morfologi dari komposit PANI/CuO. Semakin besar penambahan massa CuO, membuat morfologi komposit menjadi lebih kasar dengan bentuk aglomerasi yang cenderung tetap. Partikel CuO terlihat menutupi polianilin pada bagian permukaan. Karena partikel CuO berada di bagian permukaan partikel polianilin, konduktivitas komposit serta sensitivitas komposit dapat terpengaruh.

4.3.4 Analisis Hasil Uji Konduktivitas Elektrik DC

Hasil pengujian konduktivitas elektrik DC disajikan pada tabel 4.2. Konduktivitas komposit PANI/CuO menurun dengan semakin besarnya komposisi massa CuO.

Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Elektrik DC Komposit PANI/CuO

Material	Konduktivitas (S/cm)
PANI	4.88×10^{-3}
PANI/CuO 10%	1.68×10^{-4}
PANI/CuO 20%	8.52×10^{-5}
PANI/CuO 30%	5.94×10^{-6}



Gambar 4.9 Grafik Konduktivitas Elektrik DC Komposit PANI/CuO

Gambar 4.9 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar komposisi CuO, konduktivitas elektriknya semakin menurun. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai konduktivitas material PANI sebesar 4.88×10^{-3} S/cm, nilai konduktivitas material PANI/CuO 10% sebesar 1.68×10^{-4} S/cm. Material PANI/CuO 20% mendapatkan konduktivitas sebesar 8.52×10^{-5} S/cm dan material PANI/CuO 30% mendapatkan konduktivitas sebesar 5.94×10^{-6} S/cm. Dengan komposisi massa CuO yang lebih besar, konduktivitas elektrik komposit semakin kecil. Hal ini dikarenakan CuO memiliki konduktivitas elektrik sebesar 4.27×10^{-9} S/cm yang lebih kecil daripada material PANI. Hasil dari pengujian konduktivitas elektrik ini sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk membuat material sensor gas, dimana material tersebut memiliki persyaratan yaitu material semikonduktor. Material semikonduktor memiliki rentang nilai konduktivitas elektrik dari 10^{-8} sampai 10^2 S/cm (Callister, 2007).



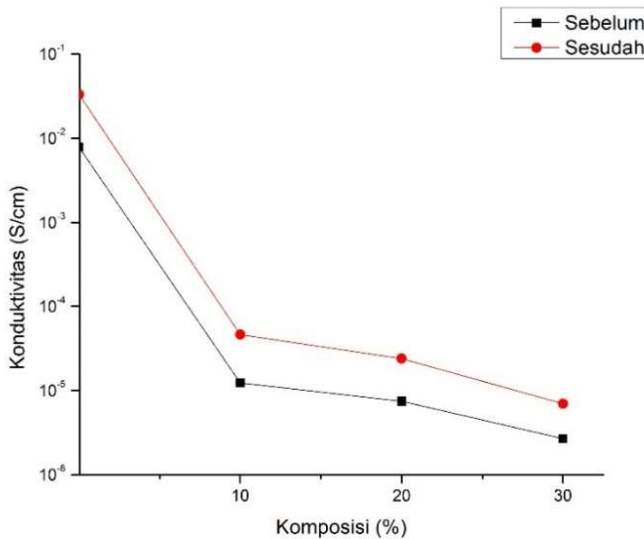
4.3.5 Analisis Hasil Uji Penginderaan Pestisida

Pengujian penginderaan menggunakan spesimen dalam bentuk Pellet. Pellet yang telah di uji konduktivitas elektrik sebelumnya di preparasi terlebih dahulu sebelum diuji. *Silverpaste* yang sebelumnya dilapiskan pada permukaan komposit dibersihkan menggunakan amplas *grade 2000* agar permukaan spesimen yang akan diuji tidak tertutupi oleh *silverpaste* tersebut. Pestisida yang digunakan dalam pengujian ini adalah diklorvos. Diklorvos tersedia dalam wujud larutan, sehingga perlu dipanaskan terlebih dahulu untuk dapat melakukan uji ini.

Pengujian penginderaan menggunakan dua tabung erlenmeyer. Pada tabung pertama, dimasukkan pellet komposit PANI/CuO kedalamnya. Tabung erlenmeyer kedua diisi cairan pestisida diklorvos dan dipanaskan pada temperatur 140°C agar dapat menguap dengan sempurna. Setelah pestisida menguap, katup dibuka selama satu menit agar material uji terpapas gas. Selanjutnya nilai resistivitas setelah terpapar par gas diukur. Perbandingan nilai resistivitas inilah yang nantinya menjadi acuan apakah material yang diujikan dapat digunakan menjadi material *sensing* atau tidak. Dan pada Gambar 4.10 dan 4.11 merupakan grafik perbedaan konduktivitas komposit PANI/CuO dan sensitivitas. Tabel 4.3 menunjukkan data nilai resistivitas konduktivitas komposit PANI/CuO sebelum dan sesudah terpapar gas.

Tabel 4.3 Tabel Data Resistivitas dan Konduktivitas Komposit PANI/CuO Sebelum dan Sesudah Terpapar Pestisida.

Komposisi (%)	R0 (Ω)	Rg (Ω)	Konduktivitas Sebelum (S/cm)	Konduktivitas Sesudah (S/cm)
0	120	28.3	7.8×10^{-03}	3.32×10^{-02}
10	74800	20000	1.23×10^{-05}	4.62×10^{-05}
20	130000	40470	7.47×10^{-06}	2.40×10^{-05}
30	373300	144000	2.69×10^{-06}	6.97×10^{-06}



Gambar 4.10 Grafik Konduktivitas Elektrik DC Komposit PANI/CuO Sebelum Dan Sesudah Dipaparan Pestisida.

Pada Gambar 4.10 diatas menunjukkan grafik konduktivitas elektrik dari komposit PANI/CuO dengan pengaruh paparan pestisida diklorvos. Setelah dipaparkan diklorvos, komposit PANI/CuO mengalami kenaikan konduktivitas elektrik pada semua komposisi. Reaksi yang dihasilkan oleh dikorvos berbeda dengan gas uji lainnya. Pada umumnya, gas lain membuat resistivitas sensor membesar sedangkan diklorvos berlaku sebaliknya. Karena resistivitas dan konduktivitas elektrik berbanding terbalik, maka pengaruh paparan diklorvos menaikann konduktivitas dari komposit PANI/CuO. Hal ini terjadi akibat adanya atom fosfor dalam senyawa diklorvos. Atom fosfor yang memiliki muatan positif dapat mempengaruhi tingkat oksidasi (*oxidation state*) dari polianilin. Penambahan muatan positif pada polianilin dapat menaikkan konduktivitas elektriknya.

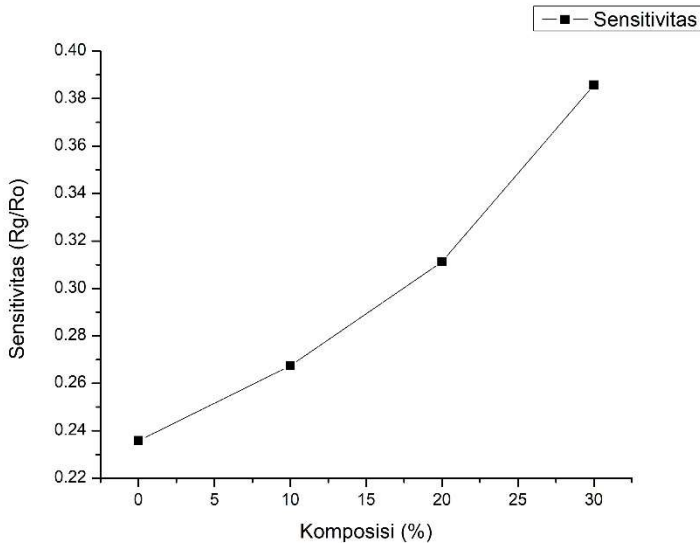


Selain atom fosfor, dalam senyawa diklorvos juga terdapat ikatan ganda yang berikatan dengan atom klor yang elektronegatif, mengakibatkan kekurangan elektron pada senyawa diklorvos. Kekurangan elektron ini juga mempengaruhi kenaikan konduktivitas dari komposit PANI/CuO (Hosseini, 2010).

Selain konduktivitas elektrik komposit PANI/CuO, pada pengujian penginderaan pestisida diklorvos ini juga menghitung sensitivitas material sensor menggunakan Persamaan 3.1. Berikut grafik sensitivitas komposit PANI/CuO terhadap pestisida diklorvos pada Gambar 4.11. Dari Gambar tersebut, sensitivitas komposit PANI/CuO meningkat seiring dengan penambahan massa CuO. Sensitivitas tertinggi didapatkan pada penambahan massa CuO 30% sebesar 0.385. Peningkatan sensitivitas ini dikarenakan CuO dalam komposit PANI/CuO meningkatkan jumlah atom-atom uap diklorvos yang diadsorpsi oleh permukaan komposit. Sensitivitas yang meningkat seiring dengan penambahan CuO juga dapat dipengaruhi oleh morfologi komposit. Seiring dengan penambahan CuO, komposit memiliki morfologi partikel CuO yang menutupi permukaan partikel polianilin walaupun pada semua komposisi massa CuO partikel-partikel tersebut teraglomerasi. Maka, partikel CuO dapat diperkirakan sebagai peningkat nilai sensitivitas dari komposit PANI/CuO. Berikut tabel nilai sensitivitas komposit PANI/CuO terhadap pestisida diklorvos.

Tabel 4.3 Nilai Sensitivitas Komposit PANI/CuO

Komposisi (%)	$R_o (\Omega)$	$R_g (\Omega)$	Sensitivitas (R_g/R_o)
0	120	28.3	0.23583
10	74800	20000	0.26738
20	130000	40470	0.31131
30	373300	144000	0.38575



Gambar 4.11 Grafik Sensitivitas Komposit PANI/CuO Terhadap Pestisida Diklorvos.

Komposit PANI/CuO dapat merespon adanya pestisida diklorvos dengan ditandai peningkatan konduktivitas dari komposit. Penambahan CuO tidak mempengaruhi mekanisme respon gas komposit. Hal ini sesuai dengan teori bahwa polianilin dan CuO merupakan semikonduktor yang bertipe sama yaitu p-type. Kemudian, sensitivitas komposit meningkat seiring dengan penambahan massa CuO walaupun pada Gambar 4.9 konduktivitas elektrik komposit menurun. Maka, sensitivitas komposit PANI/CuO tidak dipengaruhi oleh nilai konduktivitasnya. Konduktivitas elektrik hanya menandakan respon komposit terhadap gas uji.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Material polianilin (PANI) berhasil disintesis dengan menggunakan metode oksidasi kimia dari monomer anilin, ammonium persulfat dan HCl. Komposit PANI/CuO dengan komposisi massa 0, 10, 20, dan 30% berhasil difabrikasi dengan dibentuk berupa pellet dengan metode kompaksi pada tekanan 200bar. Hasil uji FTIR, PANI berhasil disintesis dengan fasa garam emeraldin dan komposisi massa CuO pada komposit PANI/CuO tidak merubah fasa polianilin. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa komposisi dari komposit adalah benar PANI dan CuO dengan struktur kristal CuO monoklinik, penambahan komposisi massa CuO membuat intensitas puncak CuO semakin besar. Morfologi dari komposit PANI/CuO memiliki bentuk *spherical* dan teraglomerasi. Penambahan komposisi massa CuO membuat permukaan partikel yang *spherical* menjadi semakin kasar. Hasil uji konduktivitas elektrik mendapatkan konduktivitas tertinggi pada komposisi 0% sebesar 4.88×10^{-3} S/cm dan terendah pada 30% sebesar 5.94×10^{-6} S/cm. Sensitivitas komposit PANI/CuO terhadap pestisida diklorvos mendapatkan nilai tertinggi pada komposisi 30% sebesar 0.38575 dan terendah pada komposisi 0% sebesar 0.23583.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya ada beberapa saran yang dapat diperhatikan:

1. Pembuatan komposit dalam bentuk *thin film* untuk mendapatkan luas permukaan yang besar.
2. Polianilin disintesis dengan morfologi *fiber* untuk mendapatkan luas permukaan yang besar.



3. Pengeringan dan pencucian polianilin harus lebih diperhatikan.
4. Mencoba jenis pestisida lain atau gas lain untuk membandingkan sensitivitas komposit PANI/CuO.

DAFTAR PUSTAKA

Adams, P.N., Laughlin P.J., Monkman A.P. 1995. *Low Temperature Synthesis of High Molecular Weight Polyaniline*. Durham. Elsevier.

Adiyanto, Arwin. 2013. *Hubungan Antara Aktivitas Asetilkolinesterase Darah Dengan Fungsi Paru Petani*. Semarang. Universitas Diponegoro.

Armes S. P., Miller J. F. 1988. *Synthetic Metal*.

Beadle P.M, Nicolau Y.F, Banka E, Rannou P, Djurado D. 1998. *Synthetic Metal*

Boeva, 2013, *Polyaniline: Synthesis, Properties, and Application*. Moscow. Pleiades Publishing.

Callister, W.D. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. York. Wiley.

Geethalakshmi, D., Muthukumarasamy, N, Balasundaraprabhu, R. 2013. *Effect of dopant concentration on the properties of HCl-doped PANI thin films prepared at different temperatures*. India. Elsevier

Herlinawati. 2010. *Sensor Gas*,
<URL:<http://herlinawati.wordpress.com/2010/12/12/sensor-gas/>>

Hiskia, I Dewa Putu Hermida. 2006. *Pengembangan Sensor Gas Karbon Monoksida (CO) berbasis SnO₂*. Prosiding Seminar nasional Tenaga Listrik dan Mekatronika 2006. ISBN 979-26-2441-24

Hosseini, S.H. 2010. *Study of Polyaniline Conducting Polymer as Sensor for Some Agricultural Phosphorus Pesticides*. New York. Springer.

Jundale, D.M. 2013. *Polyaniline-CuO Hybrid Nanocomposites: synthesis, structural, morphological, optical and electrical transport studies*. New York. Springer

Kalpakjian, S., 2003. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Fourth Edition, Illinois Institute of Technology, Chicago.

Liu, Rongcheng, dkk. 2010. *Fabrication and characteristics of composite containing HCl-doped polyaniline and Ni nanoparticles*. China. Elsevier.

M. Sittig. Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens. 2nd ed. Noyes Publications. Park Ridge, NJ. 1985.

MacDiarmid A.G., Epstein A.J. 1992. *Polyaniline: Synthesis, Chemistry and Processing*. Weinheim: VCH

Mazumdar, Sanjay. 2002. *Composites Manufacturing*. Amerika Serikat. CRC Press.

Richardson, H.W. 2000. *Copper Compounds*. Amerika Serikat. Ulmann.

Submaranian, dkk. 2015. *Structural and Electrical Properties of CuO, CuO₂, Cu₂O Nanoclusters*. India. Medziyagotira.

Stejskal J. 2002. *Polyaniline: Preparation of Conducting Polymer (IUPAC Technical Report)*. Czech Republic: International Union of Pure and Applied Chemistry Macromolecular Division IV.

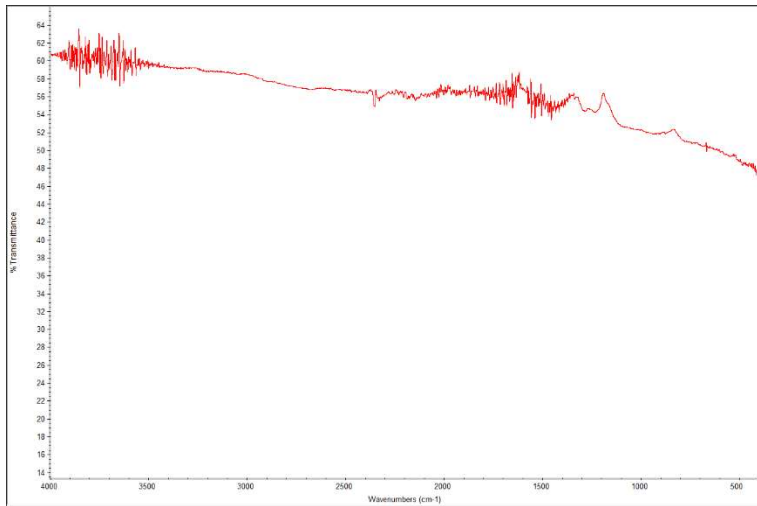
Sulimenko T, Stejskal J, Krivka I, Prokes J. 2001. *Eur. Polym. J.*

Tang, Shiow-Jing, dkk. 2011. *Polymerization of aniline under various concentrations of APS and HCl*. Jepang. The Society of Polymer Science, Japan.

Trivedi D.C., 1997. *Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers*. Chichester: Wiley.

LAMPIRAN

FTIR PANI



Fri Jun 09 09:12:52 2017 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: Fri Jun 09 09:11:18 2017 (GMT+07:00)

Region: 4000.00 400.00

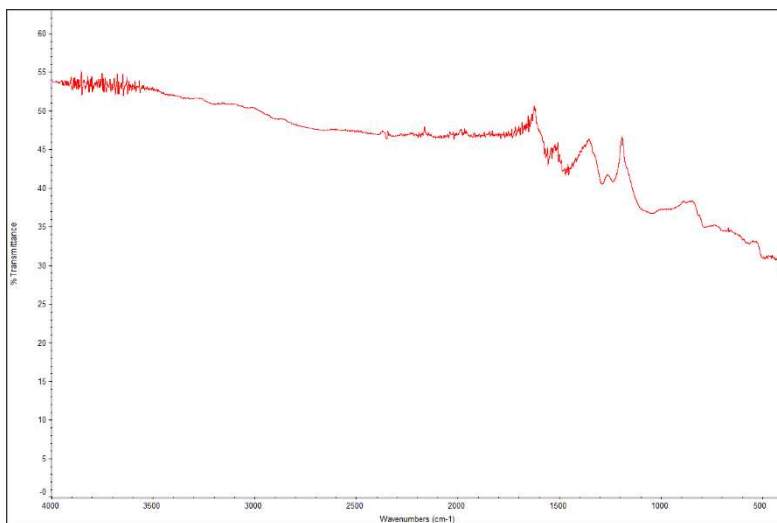
Absolute threshold: 55.339

Sensitivity: 50

Peak list:

Position:	416.68	Intensity:	47.157
Position:	666.87	Intensity:	49.789
Position:	1237.22	Intensity:	54.194
Position:	1385.42	Intensity:	54.995
Position:	1393.17	Intensity:	54.719
Position:	1416.91	Intensity:	54.205
Position:	1434.79	Intensity:	54.160
Position:	1455.40	Intensity:	53.331
Position:	1463.22	Intensity:	54.208
Position:	1470.84	Intensity:	53.736
Position:	1486.71	Intensity:	54.548
Position:	1495.03	Intensity:	54.942
Position:	1505.37	Intensity:	53.814
Position:	1515.24	Intensity:	55.025
Position:	1520.06	Intensity:	54.846
Position:	1531.84	Intensity:	54.802
Position:	1538.56	Intensity:	53.460
Position:	1557.36	Intensity:	53.629
Position:	1567.82	Intensity:	55.154
Position:	1574.42	Intensity:	55.078
Position:	1651.72	Intensity:	54.628
Position:	1682.49	Intensity:	54.810
Position:	1694.37	Intensity:	54.961
Position:	1714.68	Intensity:	55.078
Position:	1732.20	Intensity:	55.156
Position:	2351.73	Intensity:	54.791

FTIR PANI/CuO 10%



Fri Jun 09 08:31:24 2017 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: Fri Jun 09 08:29:03 2017 (GMT+07:00)

Region: 4000.00 400.00

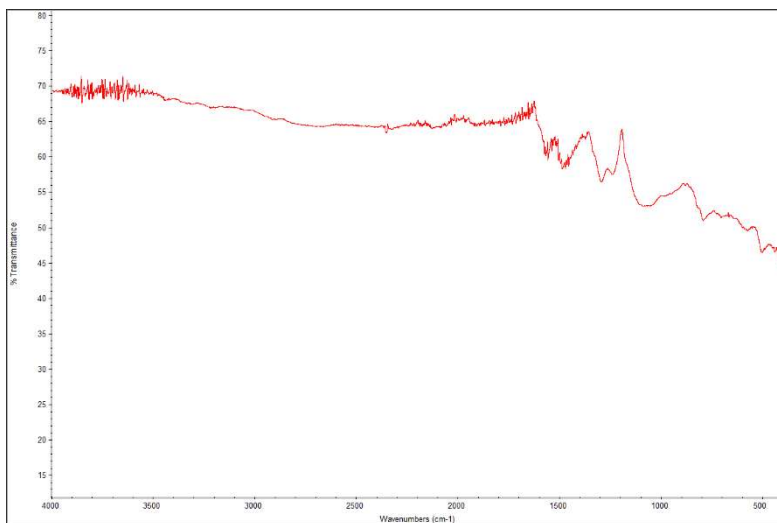
Absolute threshold: 42.281

Sensitivity: 50

Peak list:

Position:	1042.83	Intensity:	36.612
Position:	1291.70	Intensity:	40.434
Position:	1455.45	Intensity:	41.575
Position:	1470.89	Intensity:	41.512

FTIR PANI/CuO 20%



Fri Jun 09 08:38:41 2017 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: Fri Jun 09 08:37:02 2017 (GMT+07:00)

Region: 4000.00 400.00

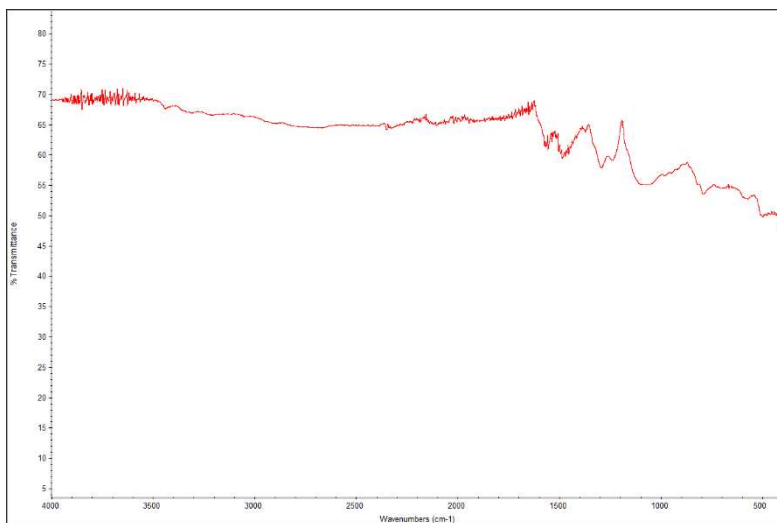
Absolute threshold: 58.003

Sensitivity: 50

Peak list:

Position:	505.44	Intensity:	46.368
Position:	793.19	Intensity:	50.913
Position:	1087.37	Intensity:	52.928
Position:	1293.64	Intensity:	56.346

FTIR PANI/CuO 30%



Fri Jun 09 08:44:35 2017 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: Fri Jun 09 08:42:57 2017 (GMT+07:00)

Region: 4000.00 400.00

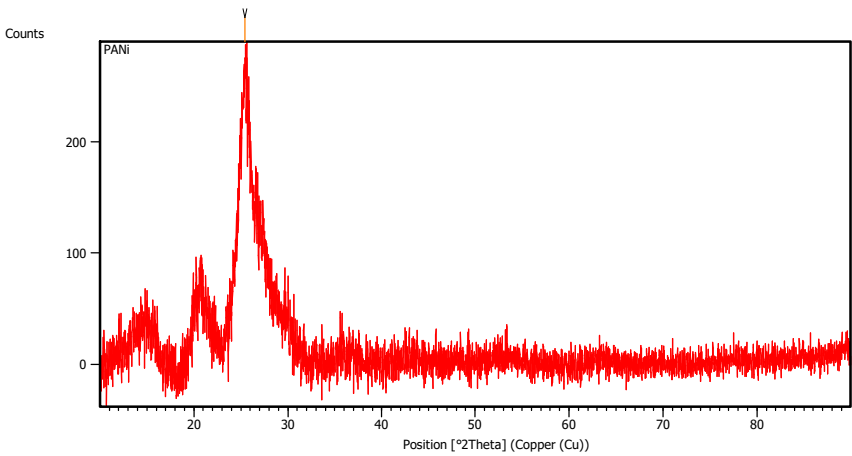
Absolute threshold: 59.231

Sensitivity: 50

Peak list:

Position:	409.59	Intensity:	47.849
Position:	423.84	Intensity:	49.326
Position:	499.47	Intensity:	49.615
Position:	794.48	Intensity:	53.423
Position:	1083.37	Intensity:	54.929
Position:	1294.08	Intensity:	57.773

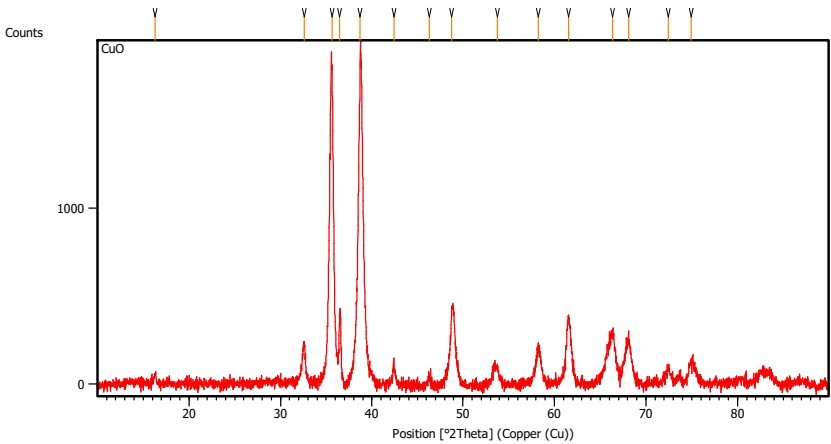
XRD PANI



Peak List: *(Bookmark 3)*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.4651	175.07	0.4080	3.49500	100.00

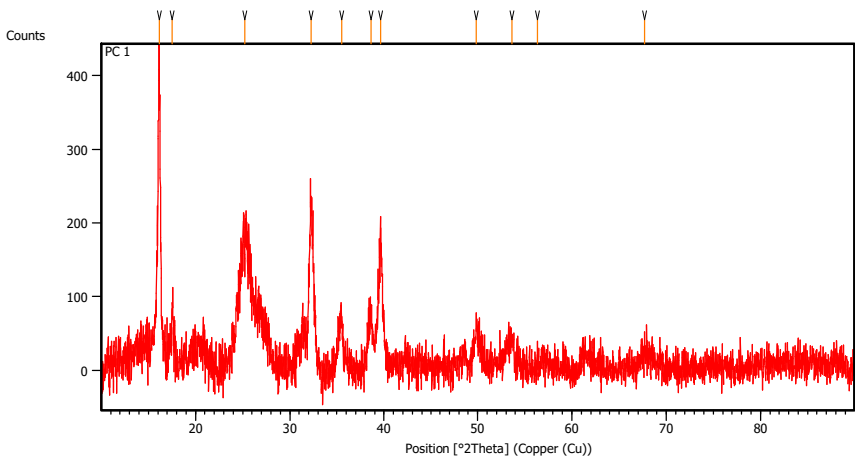
XRD CuO



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.3272	58.77	0.2007	5.42914	3.24
32.5866	216.09	0.3011	2.74790	11.91
35.6246	1790.50	0.4349	2.52023	98.68
36.4647	403.46	0.0669	2.46407	22.24
38.7225	1814.41	0.0669	2.32544	100.00
42.3825	120.78	0.1338	2.13271	6.66
46.3429	46.10	0.2676	1.95926	2.54
48.7950	447.45	0.1673	1.86638	24.66
53.7844	98.83	0.6022	1.70443	5.45
58.2673	201.70	0.4684	1.58353	11.12
61.5470	383.68	0.2007	1.50678	21.15
66.3743	287.06	0.5353	1.40842	15.82
68.1022	266.62	0.5353	1.37684	14.69
72.4476	82.73	0.2676	1.30459	4.56
74.9556	130.88	0.6691	1.26704	7.21

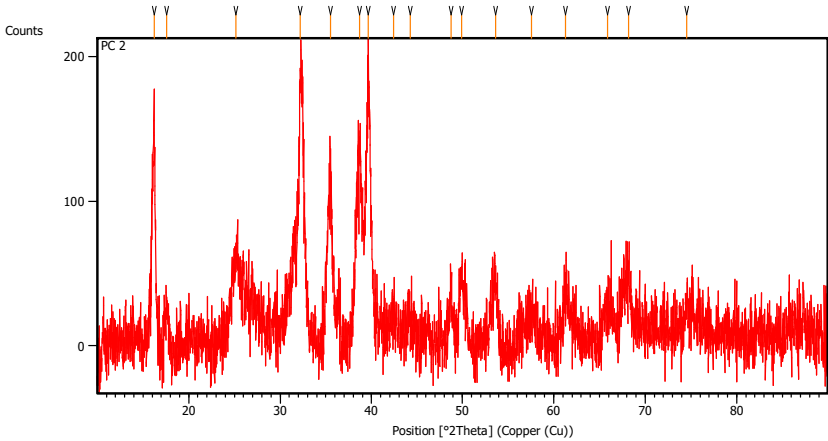
XRD PANI/CuO 10%



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.1371	416.47	0.0836	5.49265	100.00
17.5471	71.37	0.2676	5.05434	17.14
25.2382	128.25	0.8029	3.52882	30.79
32.2412	224.46	0.1673	2.77655	53.89
35.4857	72.54	0.2676	2.52977	17.42
38.5995	73.56	0.4684	2.33256	17.66
39.6489	164.01	0.2007	2.27322	39.38
49.8393	45.92	0.5353	1.82970	11.03
53.6108	36.42	0.8029	1.70954	8.75
56.3373	33.73	0.1171	1.63311	8.10
67.7231	14.38	0.8029	1.38362	3.45

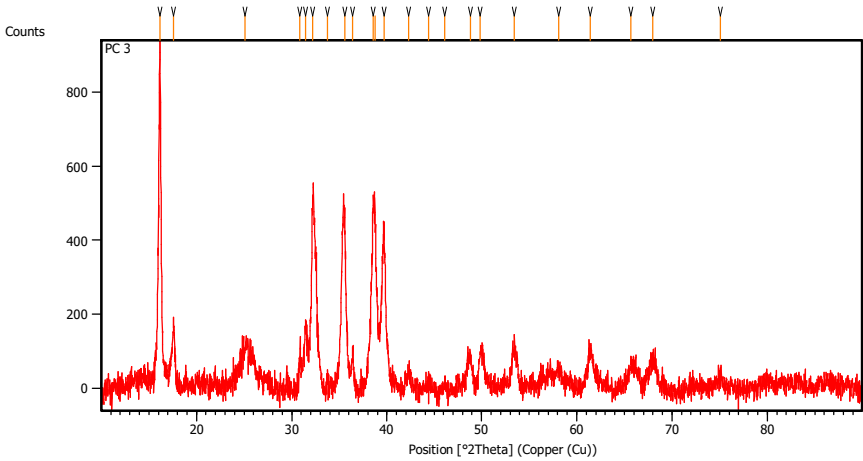
XRD PANI/CuO 20%



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel.
16.2141	164.20	0.2007	5.46674	
17.5589	31.45	0.4015	5.05096	
25.1298	39.80	0.6691	3.54380	
32.2100	166.48	0.2007	2.77917	
35.5424	115.92	0.4684	2.52587	
38.6863	134.30	0.6022	2.32753	
39.6256	192.78	0.2007	2.27450	
42.3938	17.51	0.6691	2.13217	
44.2487	12.02	0.8029	2.04700	
48.7454	34.11	0.4015	1.86817	
49.8978	51.65	0.6691	1.82769	
53.6145	47.72	0.6691	1.70943	
57.5644	13.36	0.8029	1.60118	
61.2923	27.67	0.5353	1.51243	
65.8866	25.47	0.8029	1.41766	
68.1925	40.76	0.9368	1.37524	
74.5273	15.54	0.4684	1.27326	

XRD PANI/CuO 30%



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.1672	932.43	0.0836	5.48250	100.00
17.6133	166.66	0.1338	5.03550	17.87
25.1220	87.26	0.4015	3.54488	9.36
30.8653	102.15	0.1004	2.89711	10.96
31.4386	171.69	0.1338	2.84558	18.41
32.2203	510.97	0.2676	2.77830	54.80
33.7417	24.63	0.2007	2.65643	2.64
35.5953	433.16	0.4015	2.52224	46.45
36.4182	104.72	0.1338	2.46711	11.23
38.5566	503.61	0.2448	2.33313	54.01
38.7477	484.72	0.1224	2.32783	51.98
39.6719	440.56	0.2856	2.27007	47.25
42.2548	41.82	0.4896	2.13709	4.48
44.3830	22.26	0.9792	2.03943	2.39
46.1259	20.80	0.8160	1.96634	2.23
48.8214	90.78	0.5712	1.86389	9.74

49.8340	94.98	0.6528	1.82836	10.19
53.4104	95.65	0.4896	1.71406	10.26
58.0879	38.35	0.4896	1.58667	4.11
61.3932	103.63	0.4080	1.50894	11.11
65.6718	71.53	1.1424	1.42060	7.67
68.0115	86.15	0.9792	1.37731	9.24
75.1030	37.41	0.6528	1.26387	4.01

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Aditya Dwihutama Sumaryanto, dilahirkan di kota Jakarta, 23 Mei 1995, merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Janto Warjanto dan Neni Sumarni. Penulis menempuh pendidikan formal di Jakarta yakni TK Al-Azhar Kemang Jakarta, SD Al-Azhar Kemang Jakarta, SMPN 115 Jakarta, dan SMAN 26 Jakarta. Setelah lulus dari SMA tahun 2013, penulis mengikuti seleksi SMITS dan diterima menjadi mahasiswa di Departemen

Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan terdaftar dengan NRP 2713100146. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi dan mengikuti kegiatan minat bakat kampus. Dalam bidang organisasi mahasiswa, penulis memulai berorganisasi di BSO MTC HMMT FTI-ITS sebagai staf sampai staf ahli. Penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan semasa kuliah seperti kegiatan minat bakat dalam bidang fotografi yang berada di kampus yaitu UKAFO ITS. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di Divisi Quality Control PT. Dirgantara Indonesia (PT. DI)menganalisa kualitas produk dari PT. DI menggunakan metode Non Destructive Testing. Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANI/CuO Untuk Aplikasi Sensor Pestisida”**.

Email: aditya.dwihutamas@gmail.com